

الجزء الثانى

The Electric TRANSFORMERS

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد



مراجعة

الأستاذ الدكتور

محمد أحمد قمر

المحولات الكهربائية

الجزء الثانى

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

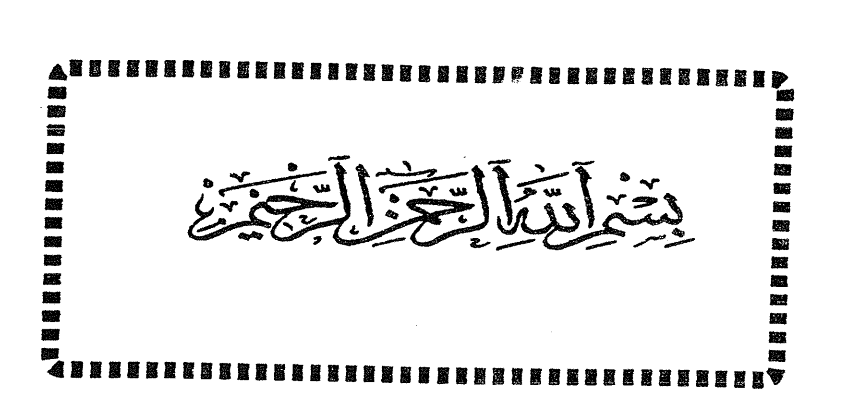
مراجعة

الأستاذ الدكتور

محمد أحمد قمر

الطبعة الأولى في مايو ١٩٩٣
الطبعة الثانية في أغسطس ١٩٩٥
الطبعة الثالثة في يونيه ٢٠٠١
الطبعة الرابعة في مارس ٢٠٠٦

تصميم الغلاف :
م / أحمد طه هاشم


بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــدمة

هذا هو الجزء الثانى من كتاب "المحولات الكهربائية"، والمكمل للجزء الأول، والذى تعرضنا فيه للمكونات الرئيسية للمحول - التشغيل - الوقاية - المفقودات - الاختيارات - الأعطال -.. وموضوعنا فى هذا الكتاب يدور حول - المحول الذاتى - المحول الجاف - محولات القياس - محولات التعزيز - محولات الفرن - الممانعات - حسابات تيارات القصر بالمحولات - التوافقيات ... وبذلك استكملنا - بأذن الله - كل مايهم المهندسين والفنيين من العاملين بمجال الكهرباء بغرض التوسع فى معرفة أكثر عن المحولات وأنواعها - تشغيلها - مشاكلها وحلها.

وأنه لمن دواعى السرور أن تكون توجيهات السيدالمهندس / *محمد ماهر أباظة* وزير الكهرباء والطاقة وتصريحاته الدائمة عن البحث والدراسة مما شجعنى على ذلك استكمال هذا العمل.

والحق يقال أن الفضل فى ظهور هذه الأعمال للنور هو التشجيع المستمر للسيد المهندس / *أحمد مصطفى المفتى* رئيس مجلس إدارة الشركة ورغبته فى أن يستفيد الزملاء المهندسين والفنيين لمسايرة التقدم التكنولوجى العالمى.

ولايسعنى فى هذا المقام الا أن أتوجه بالشكر إلى سيادته على تشجيعه الدائم للعلم لمسايرة التقدم ورفعة الشركة.

وقد قام بمراجعة الكتاب الأستاذ الدكتور / محمد أحمد قمر الذى أضفى قيمة كبيرة على الكتاب، وساعد فى إخراج الكتاب فى الصورة التى ظهر بها.

وقد وافق السيد المهندس / رئيس مجلس الإدارة على طباعة هذا الكتاب على نفقة الشركة، فتكفلت دار الجامعيين للطباعة والنشر، وقد قامت بجهد مشرف فى سبيل إخراج الكتاب على هذا النحو.

وفقنا الله جميعاً إلى مافيه خير بلدنا، وأسأله تعالى أن ييسر بهذا العمل الفائدة المرجوة لخدمة المهندسين والفنيين بقطاع الكهرباء.

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم

الاسكندرية فى

١٩٩٢/٥/١

د. م / كاميليا يوسف

فهـــرس

١

المحـــــول الذاتـــــى

Autotransformer

أصبح استخدام المحولات الذاتية أكثر انتشارا مـــن المحـــولات التقليدية (أى المحولات ذات الملفين المنفصلين أو المحولات العادية) وذلك للمميزات الآتية:

١- أنخفاض سعر المحول الذاتى عن المحول التقليدى الذى له نفس القدرة.

٢- صغر الحجم.

٣- الكفاءة العالية.

٤- المفقودات وتيار الأثارة منخفضة.

٥- معاوقة صغيرة، أى أمكان عمل تنظيم (Regulation) أفضل للجهد.

كل هذه المميزات راجعة الى أن المحول الذاتى، أحادى الوجه، ببساطة عبارة عن ملف واحد مأخوذ جزء منه عن طريق نقطة تقسيم (Tapping) واعتباره مخرج. وعلى ذلك فان جزءا فقط من أجمالى قدرة المدخل تتحول الى ملف المخرج، بينما، فى المحولات التقليدية، تتحول كل القدرة من الملف الأبتدائى الى الملف الثانوى، ورغم كل هذه المميزات إلا أن هناك بعض العيوب للمحولات الذاتية منها:

١- المعاوقة الصغيرة تؤدى الى تيار قصر عالى، مما يستلزم أحيانا إضافة معاوقة خارجية.

٢- نتيجة أن الملف الأبتدائى والملف الثانوى يعتبران متصلين معدنيا، فإن كل ملف يتأثر مباشرة بأعطال الملف الأخر، فمثلا عند حدوث اتصال أرضى على أحد الجزئين يعتبر اتصالا أرضيا على جزء الملف الآخر، مما يستلزم أن يصمم جزء الملف الثانوى مثل جزء الملف الأبتدائى ويختبر على جهد عالى مثل جزء الملف الأبتدائى أيضا.

٣- عملية تنظيم الجهد أكثر تعقيداً منها فى المحولات التقليدية.

٤- الملفات الأبتدائية والثانوية غير معزولة عن بعضها.

٥ - يمكن أن يمر تيار قصر عالى بملف الأتزان (دلتا مغلقة) يتعدى القدرة المقننة القياسية له.

١- الدائرة المكافئة لمحول ذاتى ذى ملفين:

يتكون المحول الذاتى أحادى الوجه ذو الملفين من ملف مشترك وملف توالى ملفوفين على قلب مشترك - مثل المحول التقليدى ذو الملفين.

شكل (١-١) يمثل الدائرة المكافئة لمحول ذاتى، يحتوى على ملفين : ملف مشترك (Common Winding) وملف توالى (Series Winding).

الطرفان H_1, H_0 يمثلان نهايتى ملف الجهد العالى، وعدد اللفات $(n_1 + n_2)$

الطرفان x_1, x_0 يمثلان نهايتى ملف الجهد المنخفض، وعدد اللفات n_1

حيث

n_1 عدد لفات الملف المشترك.

n_2 عدد لفات ملف التوالى.

وتكون النسبة بين الجهد العالى V_H والجهد المنخفض V_X عبارة عن :

$$\frac{V_H}{V_X} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = n$$

$$1 + \frac{n_2}{n_1} = n$$

النسبة بين عدد لفات الملفين هى (n -1) تساوى $\frac{n_2}{n_1}$

وتعرف n بأنها نسبة الجهد الأجمالى (Overall Voltage Ratio)، ويلاحظ أن النسبة بين عدد لفات الملفين لا تساوى نسبة الجهد عند اللاحمل (أى النسبة n) اذا كان الملفان متماثلين.

وحيث أن قدرة المخرج تساوى قدرة المدخل فإن

القدرة الكلية للدائرة = $S = V_H I_H = V_X I_X$

ومن ذلك ينتج أن

$$\frac{V_X}{V_H} = \frac{I_H}{I_X} = \frac{1}{n} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

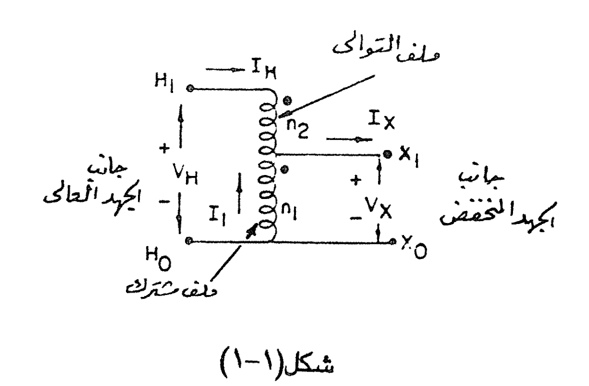
ولكن قدرة الملف المشترك عبارة عن

$$S_1 = V_X I_1 = V_X I_H \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

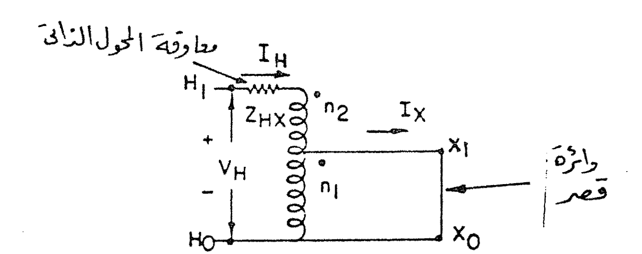
وقدرة ملف التوالى عبارة عن

$$S_2 = (V_H - V_X) I_H = V_X I_H \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

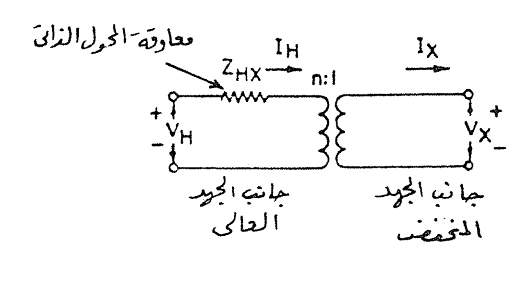
أى أن قدرة الملف المشترك = قدرة ملف التوالى



شكل(١-١)



شكل(٢-١)



شكل(٣-١)

وتكون قدرة أى من الملفين الى القدرة الكلية للدائرة عبارة عن:

$$\frac{S_1}{S} = \frac{S_2}{S} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = \frac{n-1}{n}$$

هذه النسبة تمثل ادخارا كبيرا فى قدرة المحول.

قياس معاوقة محول ذاتى ذى ملفين

يتم قياس معاوقة المحول الذاتى ذى الملفين، مثل قياس المحول التقليدى ذى الملفين، وذلك عن طريق عمل أختبار دائرة القصر (Short Circuit Test). شكل (٢ - ١) يوضح دائرة الأختبار وتكون قيمة معاوقة التسرب (Leakage Impedance) منسوبة إلى الملف H وعند V_x تساوى الصفر

$$Z_{HX} = \frac{V_H}{I_H}$$

فى شكل (٣ - ١) تم تمثيل المحول الذاتى بمحول تقليدى ذى ملفين، حيث نسبة التحويل n والمعاوقة Z_{Hx}

٢ -١ محول ذاتى ذو ثلاثة ملفات

Three Winding Autotransformer

عادة تكون المجموعة الآتجاهية للمحول الذاتى ذى الملفات الثلاثة Yyd، وتؤرض نقطة التعادل، ويكون الغرض من ملف الأتزان (d)، أما لتجهيز مسارا للتوافقية الثالثة وفى هذه الحالة تكون قدرة هذا الملف صغيرة، أو ليتحمل مرور تيار القصر الأرض خلال الأعطال الأرضية، وفى هذه الحالة يكون حجم المحول أكبر. القاعدة الشائعة أن تكون قدرة ملف الأتزان (Tertiary Winding) تساوى ٣٥٪ من قدرة المحول الذاتى.

عند التحدث عن قيمة معاوقة المحول الذاتى ذى الملفات الثلاثة تتبع أحدى الطريقتين الآتيتين:

أ- فى شكل (٤ -١) أ تم تمثيل المحول بالملفات S لملف التوالى، C للملف المشترك، tللف الأتزان، ويسمى فى هذه الحالة التمثيل برموز الملفات.

ب- فى شكل (٤ -١) ب تم تمثيل المحول بملف الجهد العالى H ، ملف الجهد المنخفض x، الملف الثالث Y, ويسمى فى هذه الحالة التمثيل برموز الدائرة.

ويعتبر الملف H فى الشكل (٤ -١) ب هو نفسه الملفين C, S فى الشكل (٤ -١) أ بينما الملف Y هو نفسه الملف الثالث t

جدول (١-١)

قيم المعاوقات للمحول الذاتى ذى الملفات الثلاثة:

	باستخدام رموز الملفات	باستخدام رموز الدائرة
قيم المعاوقات للملفات الثلاثة	$Z_t = \frac{1}{2}(Z_{tc} + Z_{ts} - Z_{cs})$ $Z_c = \frac{1}{2}(Z_{ct} + Z_{cs} - Z_{st})$ $Z_s = \frac{1}{2}(Z_{st} + Z_{sc} - Z_{ct})$	$Z_Y = \frac{1}{2}(Z_{YX} + Z_{YH} - Z_{XH})$ $Z_X = \frac{1}{2}(Z_{XY} + Z_{XH} - Z_{YH})$ $Z_H = \frac{1}{2}(Z_{HY} + Z_{HX} - Z_{YX})$
العلاقة بين قيم المعاوقات بدلالة رموز الملفات والمعاوقات بدلالة رموز الدائرة	$Z_{XY} = Z_{ct}$ $Z_{XH} = \left(\frac{n-1}{n}\right)^2 Z_{sc}$ $Z_{HY} = \frac{Z_{tc}}{n} + \frac{n-1}{n} Z_{ts} - \frac{n-1}{n^2} Z_{cs}$	$Z_{ct} = Z_{XY}$ $Z_{sc} = \left(\frac{n}{n-1}\right)^2 Z_{HX}$ $Z_{ts} = \frac{n}{n-1} Z_{HY} - \frac{n}{n-1} Z_{XY} + \frac{n}{(n-1)^2} Z_{HX}$
العلاقة بين قيم المعاوقات بدلالة رموز الملفات والمعاوقات بدلالة رموز الدائرة	$Z_c = \frac{n}{n-1} Z_X$ $Z_t = Z_Y - \frac{Z_X}{n-1}$ $Z_s = \left(\frac{n}{n-1}\right)^2 Z_H + \frac{n}{(n-1)^2} Z_X$	$Z_X = \frac{n-1}{n} Z_c$ $Z_Y = Z_t + \frac{Z_c}{n}$ $Z_H = \left(\frac{n-1}{n}\right)^2 Z_s - \frac{n-1}{n^2} Z_c$

جدول (٢–١)
الخصائص النموذجية للمحولات الذاتية:

القدرة	ممانعة reactance*				المفقودات، نسبة من قدرة المحول ك.ف.أ			
	الملف العالى/ المتخفض		ملف المتخفض إلى ملف الاتزان	ملف العالى إلى ملف الاتزان	مفاقيد اللاحمل		المفاقيد الكلية	
	الحدود	القيمة المتوسطة			الحدود	المتوسط	الحدود	المتوسط
محول ثلاثى الأوجه (٣٠٠ – ٦٠٠ مف.ا) ثلاثة محولات أحادية								
٦٠٠ –– ١٢٠٠ مف.ا	١٠– ١٣	١٢	١١ – ٩	٢٤ – ٣٤	٠,٠٧ – ٠,١	٠,٠٩	٠,٢٥ – ٠,٤	٠,٣٣
٢٤٥ – ١٣٨ ك.ف	٨ – ١١	١٠	٢٠ – ٢٥	١٠ – ٢٠	٠,٠٦ – ٠,١	٠,٠٨	٠.٢٠ –– ٠,٢٥	٠,٣٠
٢٤٥ – ١٦١ ك.ف	٥ – ٩	٧	——	——	٠,٠٦ – ٠,١	٠,٠٧	٠.١٥ –– ٠,٢٠	٠,٣٦
٥٠٠ – ١٣٨ ك.ف	١٥ – ٢٠	١٧	٥ – ١٥	٢٠ – ٣٠	٠,٠٧ – ٠,١١	٠,٠٩	٠,٣٠ – ٠,٥٠	٠,٣٨
٥٠٠ – ١٦١ ك.ف	١٢ – ١٨	١٥	٧ – ١٨	٢٠ – ٣٠	٠,٠٦ – ٠,١	٠,٠٨	٠,٢٥ – ٠,٤٥	٠,٣٥
٥٠٠ – ٢٣٠ ك.ف	١٠ – ١٣	١٢	١٥ – ٢٥	٢٠ – ٣٠	٠,٠٦ – ٠,١	٠,٠٨	٠,٢٠ – ٠,٤٠	٠,٣٠
٥٠٠ – ٣٤٥ ك.ف	٦ – ١٢	٨	٢٣ – ٢٥	٣٠ – ٤٠	٠,٠٦ – ٠,١	٠,٠٧	٠,١٥ –– ٠,٢٥	٠,٣٦
ثلاثة محولات أحادية (٣٠٠–١٢٠٠ مف.ا)								
٧٠٠ – ١٣٨ ك.ف	٢٠ – ٤٠	٢٥	——	——	——	٠,١	——	٠,٥٥
٧٠٠ – ١٦١ ك.ف	١٨ – ٢٨	٢٣	——	——	——	٠,٠٩	——	٠,٤٨
٧٠٠ – ٢٣٠ ك.ف	١٥ – ٢٥	٢٠	——	——	——	٠,٠٩	——	٠,٣٧
٧٠٠ – ٣٤٥ ك.ف	١٣ – ٢١	١٧	——	——	——	٠,٠٨	——	٠,٢٨
٧٠٠ – ٥٠٠ ك.ف	١٠ – ٢٠	١٥	——	——	——	٠,٠٧	——	٠,٢٢

* كل الممانعات Reastance تكون نسبة عند الجهد المقنن، ك.ف.أ المتخذ أساساً (Base)

تبعا لذلك يوضح جدول (١ -١) قيم معاوقة الملفات : مع الأخذ فى الاعتبار أن الجهد المأخوذ كأساس هو جهد الملف X أو جهد الملف Cوأن $n = \frac{V_H}{}$ شكلا (٤-١) حـ، (٤-١) ء يمثلان رسم المتجهات لشكلى (٤-١)أ، (٤-١) ب، يوضح جدول (٢-١) الخصائص النموذجية للمحولات الذاتية.

شكل (٥-١) يوضح محولا ذاتيا ذا ثلاثة ملفات. المجموعة الأتجاهية Yyd، والملفات الموصلة نجمة مؤرضة من خلال معاوقة Z_n، كذلك يمثل الشكل الدائرة المكافئة لمعاوقتى التعاقب الموجب والصفرى.

من جدول (١-١) يمكن كتابة معادلات معاوقات التعاقب الموجب كالآتى:

$$Z_H = \frac{1}{2}(Z_{HX} + Z_{HY} - Z_{XY})$$

$$Z_X = \frac{1}{2}(Z_{HX} - Z_{HY} + Z_{XY})$$

$$Z_Y = \frac{1}{2}(-Z_{HX} + Z_{HY} + Z_{XY})$$

جميع قيم المعاوقات كسرية (Per unit).

بينما تكون معاوقات التعاقب الصفرى عبارة عن

$$Z_{Xo} = \frac{1}{2}(Z_{HZ} - Z_{HY} + Z_{XY}) + \frac{n-1}{n}(3Z_n)$$

$$Z_{Ho} = \frac{1}{2}(Z_{HZ} + Z_{HY} - Z_{XY}) - \frac{n-1}{n^2}(3Z_n)$$

$$Z_{Yo} = \frac{1}{2}(-Z_{HZ} + Z_{HY} + Z_{XY}) + \frac{1}{n}(3Z_n)$$

جميع قيم المعاوقات كسرية (Per unit)

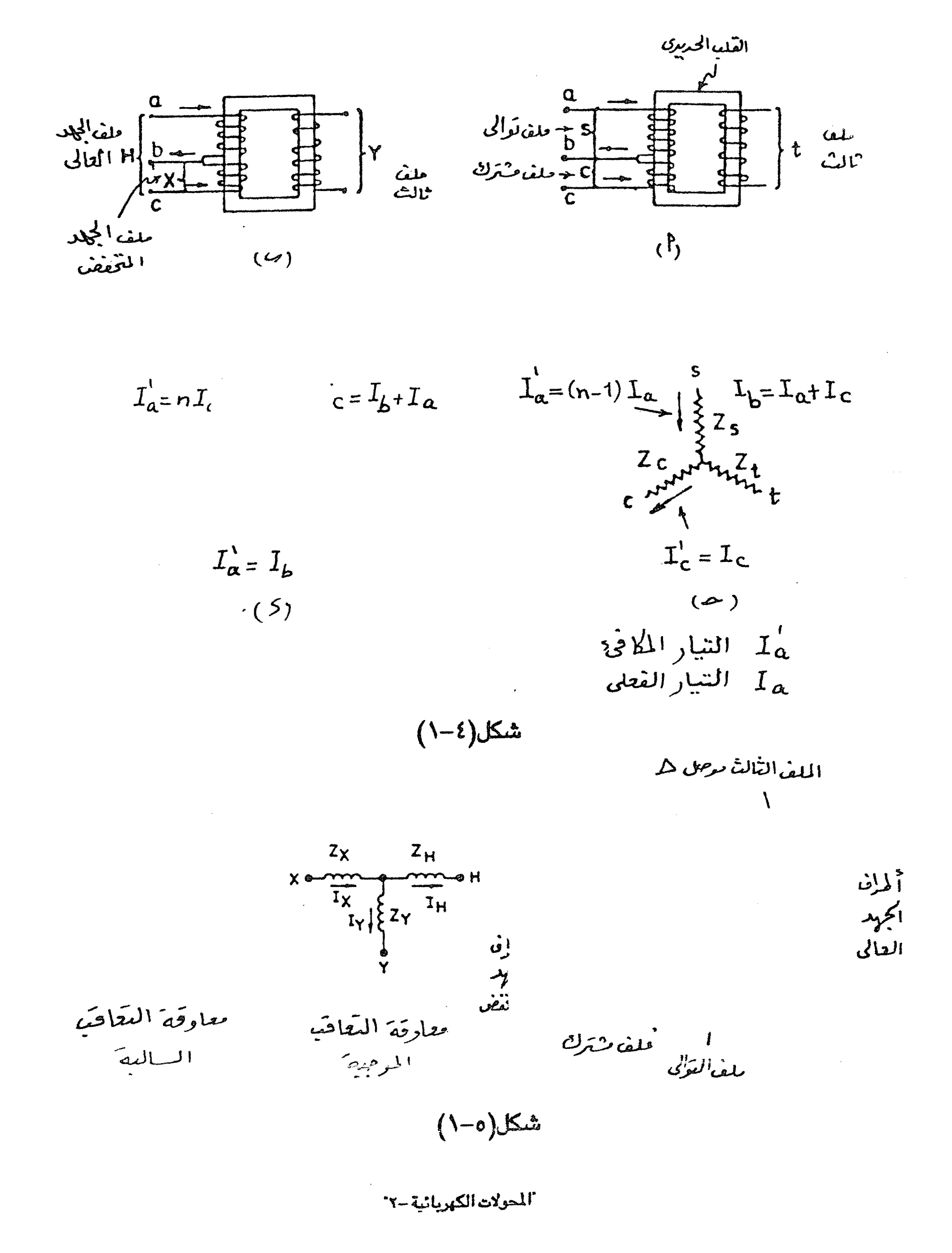
حيث $n = \frac{n_1 + n_2}{n_1}$

n_1 عدد لفات الملف المشترك.

n_2 عدد لفات ملف التوالى.

اذا كان المحول الذاتى لا يحتوى على ملف أتزان فإن$Z_{no} = \infty$ ، تصبح قيمة معاوقة التعاقب الصفرى مساوية لمجموع Z_{Ho}، Z_{xo}.

اذا كانت النجمة غير مؤرضة فان $Z_n = \infty$، وجميع القيم Z_{xo}, Z_{Ho}, Z_{no} تصبح مالانهاية


القلب الحديدي
a
ملف توالى
s
b
ملف مشترك
c
c
t
ملف ثالث
(أ)
a
ملف الجهد العالى
H
b
X
c
Y
ملف ثالث
ملف الجهد المنخفض
(ب)
$I'_a = nI_i$
$c = I_b + I_a$
$I'_a = (n-1) I_a$
s
Z_s
$I_b = I_a + I_c$
Z_c
Z_t
c
t
$I'_c = I_c$
(حـ)
$I'_a = I_b$
(د)
التيار المكافئ I'_a
التيار الفعلى I_a
الملف الثالث موصل Δ
Z_X
Z_H
X
H
I_X
I_H
I_Y
Z_Y
Y
أطراف الجهد العالى
معاوقة التعاقب السالبة
معاوقة التعاقب الموجبة
ملف مشترك
ملف التوالى

شكل(٤-١)

شكل(٥-١)

٣-١ نقط التقسيم للمحول الذاتى Autotransformer Tappings

تحتوى المحولات الذاتية على نقط تقسيم لتنظيم الجهد، ويفضل أن تكون نقط التقسيم بعيدة عن نهايات الأطراف حتى لا تتعرض لاجهادات الجهد الشديدة (Voltage Stresses)، وحتى لا يضاف عزل اضافى للملفات المجاورة للنهايات.

يمكن أن تكون نقطة التقسيم على الملف المشترك، أو ملف التوالى، أو كليهما، مع ملاحظة أن تكون نقط التقسيم فى منتصف الملف كما فى شكل (٦-١).

فى حالة وجود نقط تقسيم على كل من الملف المشترك (الابتدائى) وملف التوالى (الثانوى). فإن العلاقة بين جهد المدخل وجهد المخرج تكون:

$$E_H = E_X + \frac{n_2 + t_2 n_2}{n_1 + t_1 n_1} E_X$$

$$= \frac{n_1 (1 + t_1) + n_2 (1 + t_2)}{n_1 (1 + t_1)} E_X$$

حيث

n_1 = عدد اللفات الكلى للملف المشترك.

n_2 = عدد اللفات الكلى للف التوالى.

t_1 = الجزء من n_1 الخاص بنقطة التقسيم.

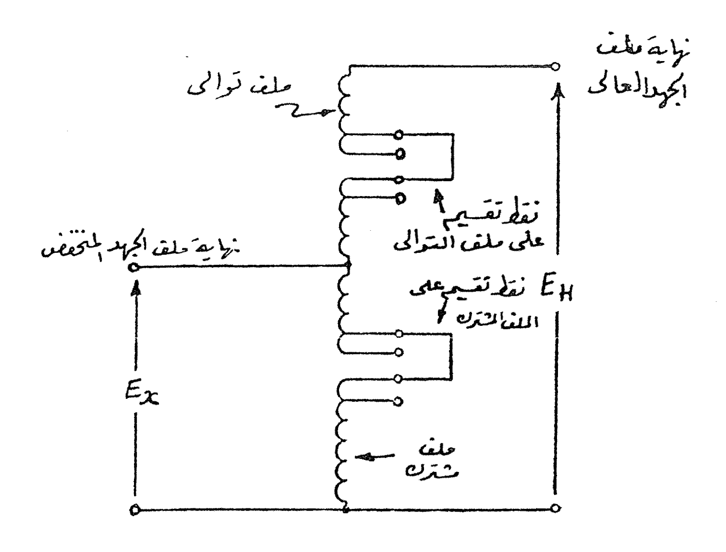
t_2 = الجزء من n_2 الخاص بنقطة التقسيم.

جدول (٣-١) يوضح العلاقة بين E_H, E_X ,وكذلك نسبة التغيير فى الجهد $\Delta E_H, \Delta E_X$ فى حالة ما اذا كانت نقطة التقسيم على الملف المشترك أو ملف التوالى أو على الملفين معا.

اذا كان المحول الذاتى مصمما بحيث يكون الفولت/ لفة ثابتا أى أن $t_2 = -t_1 \frac{n_1}{n_2}$

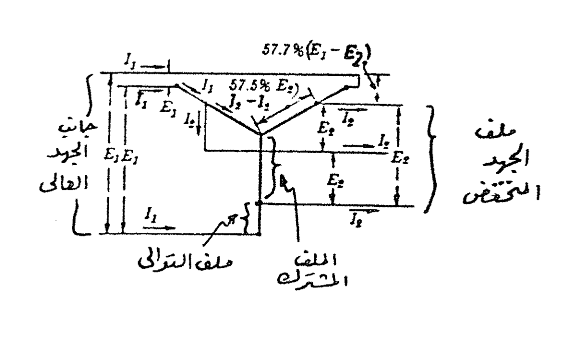
فان نسبة التغيير E_X تكون

$$\Delta E_X = t_1 \times 100$$



نهاية ملف الجهد العالي
ملف توالي
نقط تقسيم على ملف التوالي
نهاية ملف الجهد المنخفض
نقط تقسيم على الملف المشترك
E_H
E_x
ملف مشترك

شكل(٦-١)



57.7% $(E_1 - E_2)$
57.5% E_2
I_1
I_2
$I_2 - I_1$
E_1
E_2
جانب الجهد العالي
ملف الجهد المنخفض
ملف التوالي
الملف المشترك

شكل(٧-١)

جدول (٣-١)

الوضع	بفرض أن E_X ثابتة وتساوى الوحدة عند مقتن جهد الدائرة لجانب الجهد المنخفض بينما E_H متغيرة.	بفرض أن E_H ثابتة وتساوى الوحدة عند مقتن جهد الدائرة لجانب الجهد العالى بينما E_X متغيرة.
١- نقطة التقسيم على الملف الثانوى (ملف التوالى)	$E_H = 1 + \frac{n_2}{n_1} + t_2 \frac{n_2}{n_1}$ $\Delta E_H = t_2 \frac{n_2}{n_1 + n_2} 100$ (فولت/ لفة يظل كالقيمة العادية)	$E_X = \frac{n_1}{n_1 + n_2} - \frac{n_1}{n_1 + n_2} \frac{n_2 t_2}{n_1 + n_2 (1 + t_2)}$ ويكون فولت/لفة $= \frac{n_1 + n_2}{n_1 + n_2 (1 + t_2)}$ من القيمة العادية $\Delta E_X = - t_2 \frac{n_2}{n_1 + n_2 (1 + t_2)} 100$
٢- نقطة التقسيم على الملف الإبتدائى (الملف المشترك)	$E_H = 1 + \frac{n_2}{n_1} - \frac{t_1 n_2}{n_1 + n_1 t_1}$ (فولت/ لفة يساوى $\frac{1}{1 + t_1}$ من القيمة العادية) $\Delta E_H = - \frac{t_1}{1 + t_1} \frac{n_2}{n_1 + n_2} 100$	$E_X = \frac{n_1}{n_1 + n_2} + \frac{n_1}{n_1 + n_2} \frac{n_2 t_1}{n_1 (1 + t_1) + n_2}$ ويكون فولت/لفة $= \frac{n_1 + n_2}{n_1(1 + t_1) + n_2}$ من القيمة العادية $\Delta E_X = t_1 \frac{n_2}{n_1(1 + t_1) + n_2} 100$
٣- نقطة التقسيم على كل من الملفين	$E_H = 1 + \frac{n_2}{n_1} + \frac{t_1 - t_2}{1 + t_1} \frac{n_2}{n_1}$ (فولت/ لفة يساوى $\frac{1}{1 + t_1}$ من القيمة العادية) $\Delta E_H = \frac{t_2 - t_1}{1 + t_1} \frac{n_2}{n_1 + n_2} 100$	$E_X = \frac{n_1}{n_1 + n_2} + \frac{n_1}{n_1 + n_2} \frac{n_2 (t_1 - t_2)}{n_1 (1 + t_1) + n_2 (1 + t_2)}$ ويكون فولت/لفة $= \frac{n_1 + n_2}{n_1(1 + t_1) + n_2 (1 + t_2)}$ من القيمة العادية $\Delta E_X = \frac{n_2 (t_1 - t_2)}{n_1(1 + t_1) + n_2(1 + t_2)} 100$

٤-١ طرق توصيل المحولات الذاتية ثلاثية الأوجه:

١- توصيلة نجمة: Y- Connection

هذه الطريقة هى أكثر الطرق شيوعا وبساطة، ولا تمثل أية صعوبة فى التصميم أو العمليات الحسابية. حيث أن كل ساق (Limb) فى التوصيلة Y تعالج كوحدة محول أحادى الوجه.

شكل (٧-١) يوضح التوصيلة نجمة والعلاقة بين التيار والجهد فى المحول الذاتى.

للتبسيط سيتم الاشارة إلى جهد ملف الجهد العالى بالرمز E_1 والتيار المار بخطوط ملف الجهد العالى بالرمز I_1 وكذلك للجهد و التيار بملف الجهد المنخفض بالرموز I_2, E_2 ، لايجاد التيارات I_1, I_2 تتبع نفس الطريقة العادية لحساب التيار وهى

$$I_1 = \frac{\text{Lood KVA} \times 1000}{\sqrt{3}\ E_1} \qquad \text{Amp}$$

$$I_2 = \frac{\text{Lood KVA} \times 1000}{\sqrt{3}\ E_2} \qquad \text{Amp}$$

يلاحظ أنه لا يمكن تحميل وجه واحد (مع نقطة التعادل) لتوصيلة النجمة لمحول ذاتى مكون من ثلاثة محولات أحادية، بدون حدوث مخاطر عدم اتزان جهود السيقان (Leg Voltages)، وعلى ذلك اذا كان المرغوب تشغيل المحـــول أربعة اسلاك (Four Wire) فاما أن يتم توصيلة متعرج Z أو توصيلة نجمة / دلتا .

٢- توصيلة متعرج Zigzag Connection

كما فى شكل (٨-١) تستخدم توصيلة Z للحصول على أربعة أسلاك (أو أربعة أطراف) - ثلاثة أوجه ونقطة تعادل - عند أتزان أحمال الأوجة الثلاثة لا يمر تيار بالمحول الذاتى، بينما فى حالة اللاحمل يمر تيار بنقطة التعادل وتقسم القيمة بالتساوى على الثلاثة أوجه. فى الشكل الامبير - لفات فى الملف (1a) متزنة مع الامبير لفات فى الملف (1b) وكذلك الامبير لفات بالملفين (2a) ، (2b) متزنة. والامبير لفات بالملفين (3b) ، (3a) أيضـــا متزنة وعـــلى ذلك يحـــدث فيض فـــى مســـارات التسرب (Leakage Pathes) فقط، ولا يحدث فيض بالقلب.

يلاحظ أن توصيلة المحول Z تحتاج ١٥٪ لفات زائـدة وبالتـالى ١٥٪ ك. ف. أ. أكثر من مثيلتها فى توصيلة المحول Y.

٣- توصيلة متعرج مزدوجة Double Zigzag Connection

شكل (٩-١) يوضح توصيلة متعرج مزدوجة. وتختلف عن طريقة توصـيلة متعرج حيث يمر تيار فـــى كل وجه مساويا تيـار التحميل، بالاضافة الى $\frac{١}{٣}$ قيمة تيار عدم الاتزان المار بنقطة التعادل.

٤- توصيلة دلتا Delte Connection

شكل (١٠-١) يوضح توصيلة دلتا، وواضح فى الشكل قيم التيارات والجهود فى الملفات المشتركة وملفات التوالى.

جهد وتيار الملف المشترك e_1, i_1 وجهد وتيار ملف التوالى e_2, i_2 الامبير لفات متزنة بكل من الملفين. وكذلك الڤولت - أمبير يجب أن يكون متساويا وعلى ذلك يكون التيارين i_1, i_2 فى اتجاه مرحلى واحد (in phase) وكذلك فى اتجاه مرحلى مع تيار الخط للف الجهد المنخفض I_2، ونجد أن:

$$i_1 + i_2 = I_2 \quad \text{(جمع اتجاهى)}$$

$$i_1 e_1 = i_2 e_2$$

يمكن أيجاد الجهود e_2, e_1 بدلالة جهود المدخل والمخرج E_1, E_2

$$e_1 = \frac{E_1}{2} + \sqrt{\frac{E_2^2}{3} - \frac{E_1^2}{12}}$$

$$e_2 = E_1 - e_1$$

$$i_1 = \frac{I_2}{1 + \frac{e_1}{e_2}}$$

$$i_2 = i_1 \frac{e_1}{e_2}$$

٥- توصيلة دلتا مفتوحة Open Delta Connection

شكل (١١ -١) يوضح توصيلة دلتا مفتوحة. حيث يتم استخدام محولين كل منهما أحادى الوجه ذاتى. ويستخدم فى نظام ثلاثى الأوجه بنفس طريقة أستخدام توصيلة دلتا مفتوحة لمحول تقليدى - ويكون الحمل مساويا ٨٦,٦٪ من قيمة قدرة المحول الذاتى أحادى الوجه المستخدم.

التيار المار بملف التوالى يساوى التيار المار بخط الجهد العالى (I_1) ، بينما التيار المار بالملف المشترك يساوى التيار المار بخط الجهد المنخفض مطروحا منه التيار المار بخط الجهد العالى أى يساوى ($I_2 - I_1$) ، طرح جبرى. النسبة بين المقنن إلى المخرج تساوى

$$\frac{1.15\,(E_1 - E_2)}{E_1}$$

٦- توصيلة حرف T (T- Connection)

شكل (١٢-١) يوضح توصيلة حرف T. حيث يتم أستخدام محولين كل منهما أحادى الوجه ذاتى. نجد موضحا بالشكل قيمة التيارات والجهود بالملفات المشتركة وملفات التوالى. وتسخدم التوصيلة للتركيب فى نظام ثلاثى الأوجه.

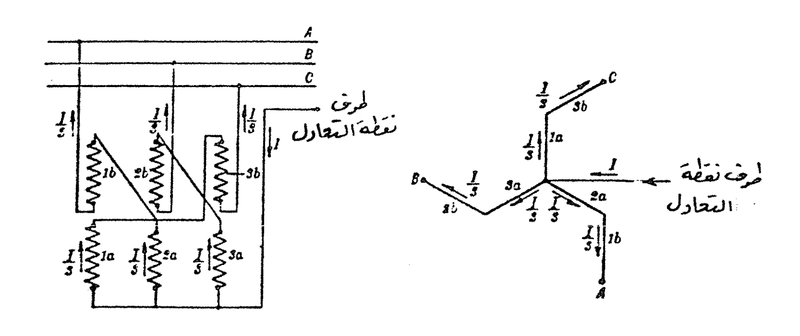
١-٥ اجهادات الجهد فى المحولات الذاتية ذى توصيلة النجمة:

Voltage Stresses In Autotransformers In Y- Connection

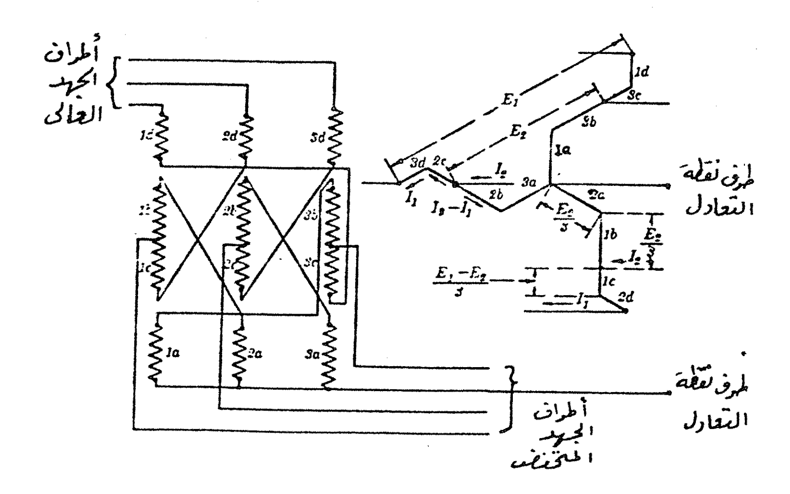
تتعرض المحولات الذاتية ذات توصيلة النجمة لاجهادات جهد، نتيجة أحد هذه العوامل:-

- حدوث قصر على أحد الأوجه.
- جهود ظاهرة التوافقية الثالثة.
- الجهود العابرة.

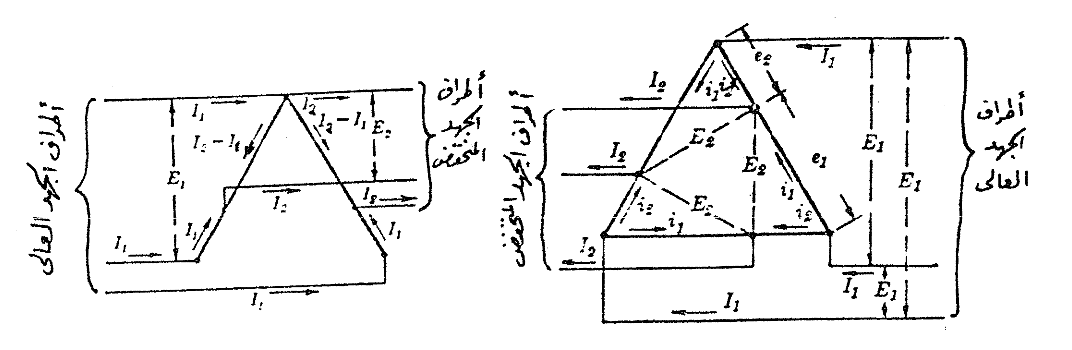
يوجد أربعة حالات لتوصيلة نجمة للمحول الذاتى، وهذه الحالات ملخصة فى جدول رقم (٤-١)، وتأثير العوامل السابقة على كل حالة كما يأتى:


طرف نقطة التعادل
طرف نقطة التعادل

شكل(٨-١)

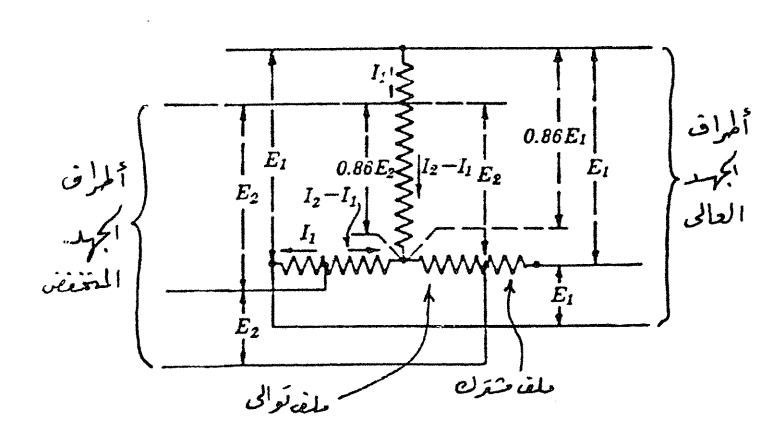

أطراف الجهد العالي
طرف نقطة التعادل
طرف نقطة التعادل
أطراف الجهد المنخفض

شكل(٩-١)



شكل(١١-١)

شكل(١٠-١)



شكل(١٢-١)

الحالة الأولى:

عندما تكون نقطتى التعادل للمحول الذاتى وللنظام مؤرضتين
Autotransformer Neutral Grounded and System Neutral Grounded

فى هذه الحالة كما فى شكل (١٣-١) نقطة التعادل للمحول الذاتى مؤرضة، ويتغذى المحول من مولد موصل نجمة مؤرضة. تعتبر هذه الحالة هى أكثر الحالات شيوعا فى تشغيل المحولات الذاتية، حيث أنها حالة تشغيل أمان من اجهادات الجهد ذات الترددات المنخفضة.

المحول الذاتى فى هذه الحالة لا يحتوى على ملف اتزان، ولذلك يمر تيار التوافقية الثالثة من الخط إلى ملف المحول الذاتى، ثم الى نقطة تعادل المولد من خلال الأرض، وعلى ذلك فإن الجهود الناتجة من التوافقية الثالثة يمكن أن تهمل، ويصبح تأثيرها غير ضار. ولكن اذا كان الخط، الذى يمر من خلاله تيار التوافقية الثالثة، طويلا فانه يتسبب فى حدوث تداخل فى خطوط التليفونات المتصلة على التوازى مع خط القوى.

ولذلك تمنع بعض الدول استخدام المحولات التقليدية المتصلة Yy، أو المحولات الذاتية الموصلة نجمة مؤرضة، إذا كانت خطوط القوى، المتصلة بالمحولات، متصلة على التوازى مع خطوط التليفونات، أو تشترط أن يحتوى المحول على ملف اتزان.

اذا حدث قصر على أحد أوجه المولد، كما فى شكل (١٣ -١) ب، فإن جهد نفس الخط على المحول الذاتى يحدث له انهيار، ولكن لا يمر تيار قصر بالمحول، ولايحدث ارتفاع فى الجهد فى أى مكان.

شكل (١٣ -١) حـ يوضح حالة حدوث قصر على الخط المتصل بالطرف x للمحول الذاتى، واتجاه التيارات. وتعتمد قيمة التيار المار على معاوقة المحول لكل وجه، ومعاوقة المولد لكل وجه، وكذلك مقاومة الأرض أن وجدت.

الحالة الثانية:

عندما تكونا نقطتا التعادل للمحول الذاتى وللنظام معزولتين
Autotransformer Neutral Isolated, System Neutral Isolated

شكل (١٤-١) يوضح التوصيلة فى هذه الحالة.

لكى تكون هذه الحالة مرضية للتشغيل يجب مراعاة الآتى:

١- اذا كان المحول الذاتى من النوع الهيكلى (Shell Type) ثلاثى الأوجه أو مكون من ثلاثة وحدات أحادية الوجه - ويعمل عند جهد أعلى من ٦ كيلو ڤولت - فيجب أن يكون مجهزا بملف اتزان متصل دلتا (Tertiary Winding)، وذلك للتغلب على الفجائيات العكسية (Transient Inversion) التى تنتج على نقطة التعادل، أثناء الترددات العالية والموجات شديدة الانحدار.

٢- اذا كان المحول عبارة عن ثلاثة وحدات من النوع ذى القلب (Core - Type) فإنه يمكن الاستغناء عن ملف الاتزان، ولكن تركب حماية ضد الفجائيات العكسية عبارة عن مانعات صواعق مناسبة، أو مقاومة من الثيرايت (Thyrite) بين نقطة التعادل والأرض.

٣- يعتبر ملف الاتزان حماية كافية ضد الفجائيات العكسية، اذا كانت قيمة معاوقة ملف الاتزان صغيرة.

عند حدوث قصر على أحد أوجه الجهد العالى للمحول الذاتى كما فى شكل (١٥ -١)، حيث حدث قصر على الوجه (X) فإن الجهد الخطى للجهد المنخفض يرتفع على الأوجه الأخرى الى

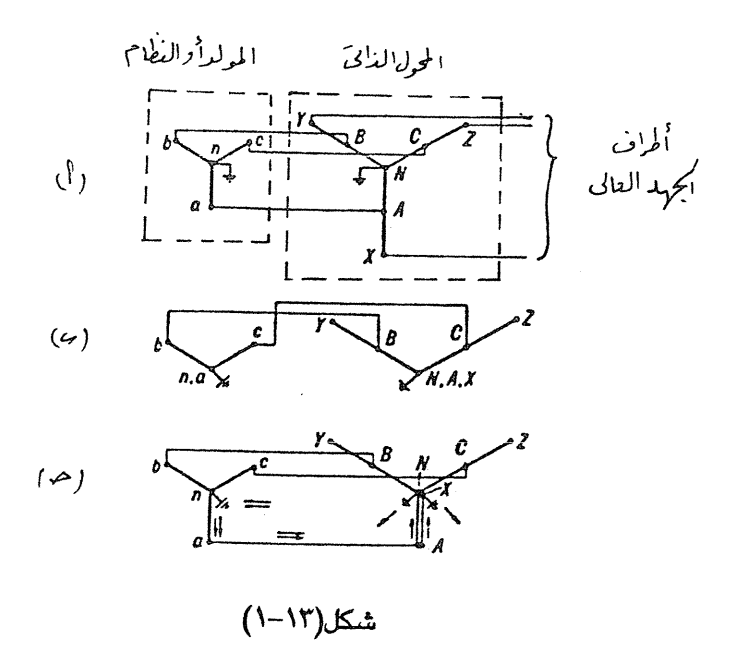
$$0.58\sqrt{E_1{}^2 + E_2{}^2 + E_1 E_2} \quad \text{Volt}$$

حيث E_1 الجهد العالى للخط

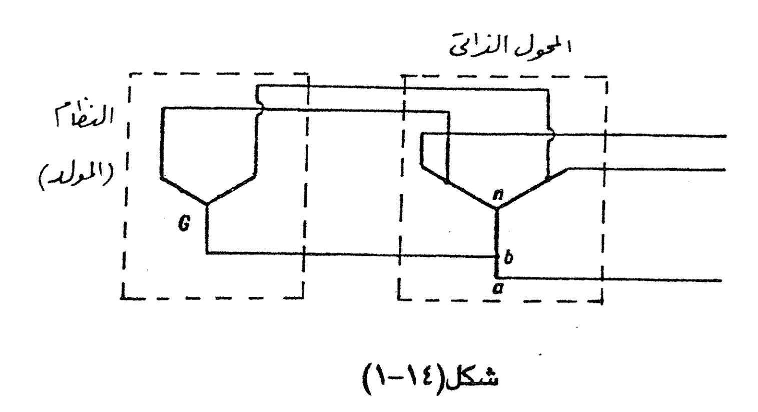
E_2 الجهد المنخفض للخط.

وعلى ذلك اذا كانت نسبة تحويل المحول ٦٠/ ١٠٠ ك. ف فان حدوث قصر على أحد أوجه الجهد العالى ترفع جهد الوجهين الأخريين، فى الجهد المنخفض، إلى٨١ ك. ف فوق مستوى الأرض.

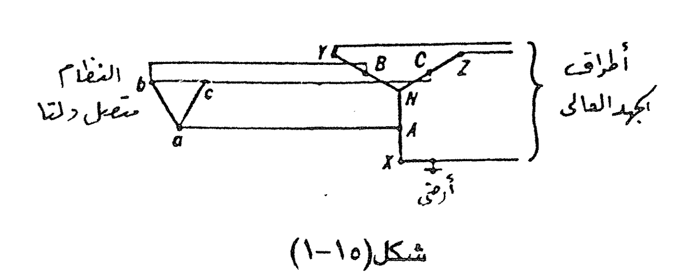
عند تعرض المحولات الى الصواعق، أو عمليات الفصل والتوصيل، أو حالات قصر، فان ملفات التوالى تتعرض لاجهادات فجائية، تحدث من خلال الارتباط المغناطيسى (Magnetic Coupling) جهود زائدة شديدة التأثير على الملفات المشتركة ويرتفع جهد نقطة التعادل محدثا فجائيات عكسية (Transient Inversion). تحدث هذه الظاهرة من خلال السعوية الممثلة بمكثفات خلال الملفات الابتدائية والأرض C_p، والمكثفات خلال الملفات الثانوية والأرض C_s، كما فى شكل (١٦-١). ويمكن فى هذه الحالة أن يرتفع الجهد من ١٠ إلى ٥٠ مرة قيمة الجهد العالى، وتعرف هذه الظاهرة



شكل(١٣-١)



شكل(١٤-١)



شكل(١٥-١)

جدول (٤ -١)

مصدر العطل	الحالة الأولى نقطة تعادل المحول الذاتي وكذلك المولد مؤرضة			الحالة الثانية نقطة تعادل المحول الذاتي معزولة وكذلك المولد معزولة			الحالة الثالثة نقطة تعادل المحول الذاتي معزولة والمولد مؤرضة			الحالة الرابعة نقطة تعادل المحول الذاتي مؤرضة والمولد معزولة		
	S	T	Δ	S	T	Δ	S	T	Δ	S	T	Δ
تاثير خط مؤرض	A	A	A_7	A_1	A_1	A_1	C_5	B_5	A	A_2	A_2	A_2
خاصية التوافقية الثالثة	A	A	A_7	C_{3-4}	A	A	C_4	A_4	A	C_4	A	A
فجائيات الخطوط	A_8	A_8	$A_{7,8}$	C_6	C_6	B_6	C_6	C_6	B_6	A_8	A_8	A_8

معنى الرموز والارقام الخاصة بجدول (٤-١)

A = مرضى — S= محول ذاتى مكون من ثلاث وحدات أحادية أو ثلاثى الأوجه من النوع الهيكلى.

B = أمان معتدل — T= محول ذاتى ثلاثى الأوجه من النوع ذى القلب (ثلاثة سيقان)

C = خطر — Δ = محول ذاتى يحتوى على ملف اتزان دلتا.

1 = ارتفاع الجهود نتيجة ارتفاع النسبة بين الجهد العالى والجهد المنخفض

2 = ارتفاع الجهود على أى نظام يحدد لقيمة الجهد المقنن للخط.

3 = القوة الدافعة الكهربائية للتوافقية الثالثة من نقطة التعادل الى الأرض تكون حوالى ٥٠٪ من جهد الخط.

4= رنين التوافقية الثالثة المسموح بين ممانعة المحول الذاتى وسعرية الخط. هذا يحدث مخاطر جهود زائدة عند استخدام وحدات أحادية أو محول هيكلى. بينما فى محول ذى قلب ثلاثة سيقان فاحتمال جهود الرنين تكون مقبولة جدا.

5 = انعكاس عند الترددات الأساسية.

6 = انعكاس الجهود الفجائية محتمل، يمكن أن تسبب مخاطر، الا اذا جهزت بحماية ضد هذه الفجائيات عن طريق اضافة مانعة صواعق أو مقاومة Thyrite بين نقطة التعادل والأرض أو خلال ملفات التوالى.

7 = اذا كان النظام يحتوى على مولدات موصلة Y بنقط تعادل مؤرضة، رفع الجهد خلال محول Y - Y وله نقطتى التعادل مؤرضة فانه سوف يحدث زيادة فى التيارات الدائرية وتمر بين المعدات الموصلة.

8 = موجات الصواعق تتجه الى التركيز خلال ملفات التوالى، وملفات التوالى يجب أن تصمم أما (أ) بعزل كافى لمقاومة الجهود المسموحة. (ب) عن طريق By - pass وقاية لتقليل تركيز الجهود للقيمة الأمان.

بفجائيات عكسية. وتتعرض المادة العازلة لمخاطر نتيجة هذه الظاهرة اذا كانت نسبة تحويل المحول الذاتى قريبة من الوحدة. بينما اذا كانت النسبة ٢ : ١ أو أكثر، فيمكن اهمال هذه الظاهرة. يفضل حماية المحولات من الفجائيات العكسية بتركيب مانعات صواعق، أو توصيل مقاومة من الثيرايت (Thyrite) (عبارة عن مقاومة ذات خاصية غير خطية مقامتها تقل بسرعة مع زيادة قيمة التيار المار بها أو قيمة الجهد الناتج عليها) بين نقطة التعادل والأرض.

الحالة الثالثة:

نقطة التعادل للمحول الذاتى معزولة – نقطة التعادل للنظام مؤرضة
Autotransformer Neutral Isolated. System Neutral Grounded

يجب ألا يستخدم محول ذاتى مكون من ثلاثة وحدات أحادية أو محول هيكلى ثلاثى الأوجه موصل نجمة، لأن هذه التوصيلة سينتج عنها مخاطر جهد عند الترددات العادية، نتيجة انعكاس الترددات العادية، – اذا حدث قصر على أحد الأوجه – كذلك يحدث مخاطر نتيجة الفجائيات العكسية المذكورة سابقا.

فى المحول الذاتى ثلاثى الأوجه من النوع ذى القلب، فان مخاطر انعكاس الترددات العادية تقل جدا، لان الدائرة المغناطيسية مغلقة.

عند استخدام ملف اتزان يجب أن تكون معاوقته صغيرة بالكفاية، بالنسبة لمعاوقة ملف التوالى.

شكل (١٧ –١) يوضح هذه الحالة، عند استخدام المحول كرفع – يوضح شكل (١٧ – ١) ب قيم الجهود عند حدوث قصر على الخط (a - A)، بينما شكل (١٧ –١) حـ يوضح قيم الجهود عند حدوث قصر على الخط x (الجهد العالى).

فى شكل (١٨ –١) أستخدم المحول كخفض – حيث يوضح شكل (١٨ – ١) ب الوضع عند حدوث قصر على جانب الجهد العالى (على الخط x X). بينما شكل (١٨ – ١) حـ يوضح الجهود عند حدوث قصر على جانب الجهد المنخفض (الخط A).

فى شكل (١٩ – ١) أستخدم محول ذاتى توصيلة دلتا. حيث يوضح شكل (١٩ – ١) ب حدوث قصر على الطرف (A)، وأتجاه مرور التيارات نتيجة حدوث القصر.

الحالة الرابعة:

نقطة التعادل للمحول الذاتى مؤرضة – نقطة التعادل للنظام معزولة
Autotransformer Neutral Grounded, System Neutral Isolated

أيضا يجب الا يستخدم محول ذاتى مكون من ثلاثة وحدات أحادية أو محول ذاتى ذو قلب هيكلى ثلاثى الأوجه، بسبب مخاطر التوافقية الثالثة الشديدة.

ويفضل أستخدام محول ذاتى ثلاثى الأوجه من النوع ذى القلب أو ثلاثة محولات أحادية مع استخدام ملف اتزان للتخلص من مخاطر التوفقية الثالثة.

الخلاصة أنه فى المحولات الذاتية الموصلة نجمة / نجمة يجب أن يحتوى المحول على ملف أتزان للتخلص من التوافقية الثالثة. كذلك يفضل تركيب مانعات صواعق للتخلص من اجهادات الجهود.

شكل (٢٠ – ١) يوضح هذه الحالة عند حدوث قصر على الطرف A.

شكل (٢١ –١) يوضح محولا ذاتيا أحادى الوجه مقنناته كالآتى:

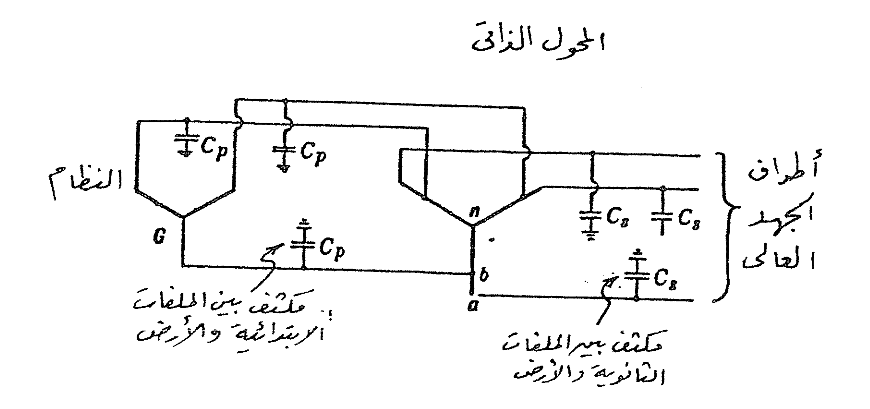
ألقـــــــــدرة: ٢٥٠ م . ف . أ
الجهـــــد العالى: ٥٥٥/$\sqrt{٣}$ ك .ف
الجـــهد المنخفض: ١٣,٨ ك .ف
الجهد المتوســـط: ٤٦٠/$\sqrt{٣}$ ± ١٠٪ ك. ف
نــظام التبريـــد: ONAN / ONAF / OFAF
المجموعة الاتجاهية: Lio (io)
انتاج شركة الستوم الفرنسية.

شكل (٢٢ –١) يوضح محولا ذاتيا أحادى الوجه مقنناتة كالآتى:

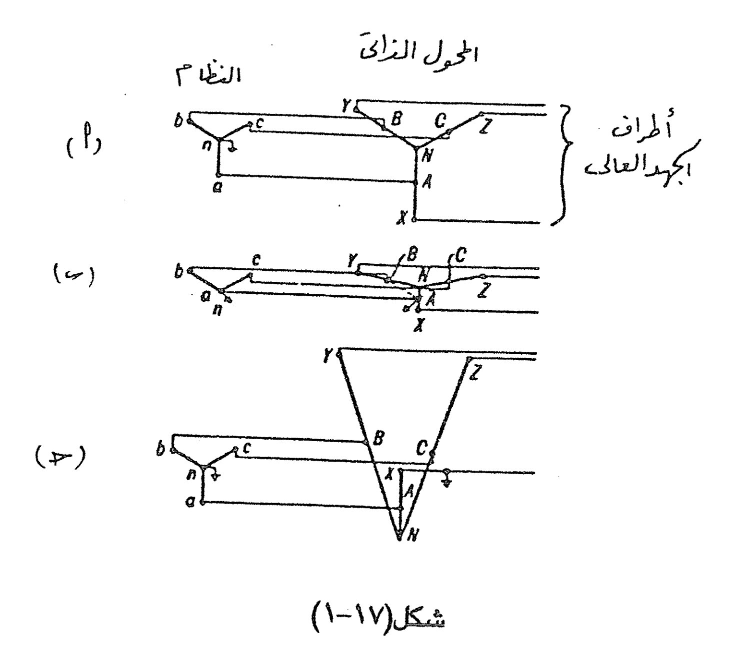
القـــــــــدرة: ٥٠٠ م . ف .أ
الجهـــــد العـالى: ٧٦٥/$\sqrt{٣}$ك .ف
الجهـــد المنخفض: ٢٠ ك .ف
الجهـــد المتوسط: ٤٠٠ / ٣ – ٥٪ ك .ف
نـــظام التبـــريد: ODAF
المجموعة الآتجاهية: Lio (io)
انتاج شركة الستوم الفرنسية

شكل (٢٣ – ١) يوضح محولا ذاتيا ثلاثى الأوجه مقنناتة كالآتى:

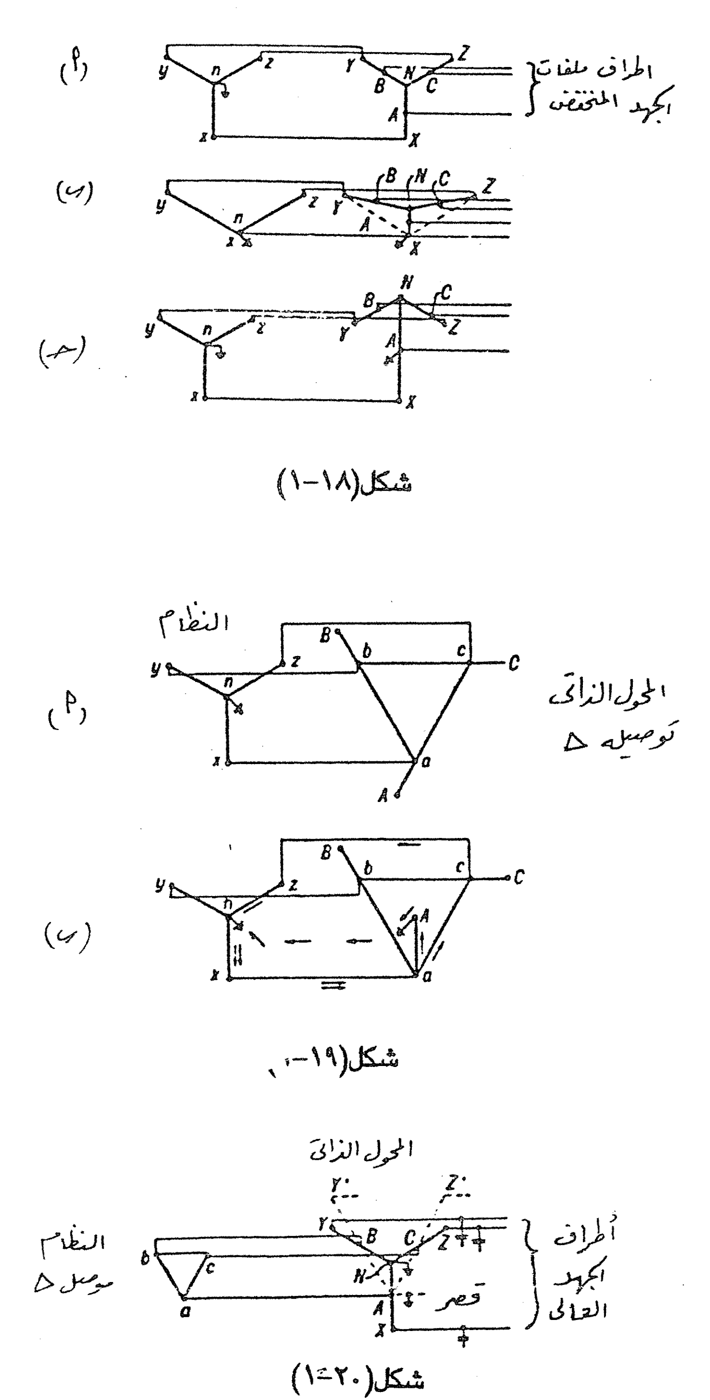
القـــــدرة: ٦٠٠ م . ف.أ
نسبة التحـويل: ٥١٥ / ٢٣٠ ك .ف
التـــــــردد: ٥٠ هرتز
نظـــام التبريد: ONAN / ONAF
انتاج انجليزى



شكل(١٦-١)

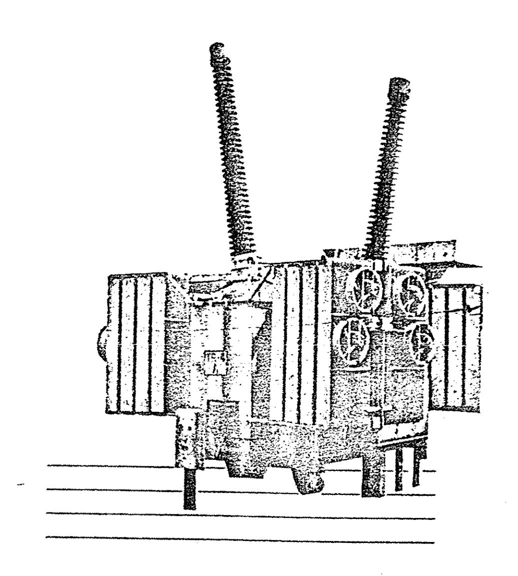


شكل(١٧-١)

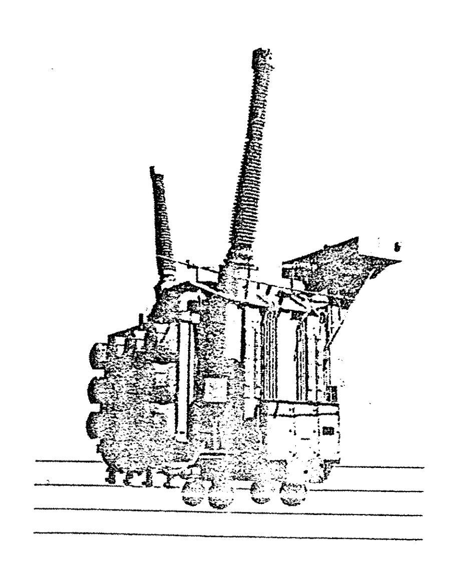


شكل(١٩-١)

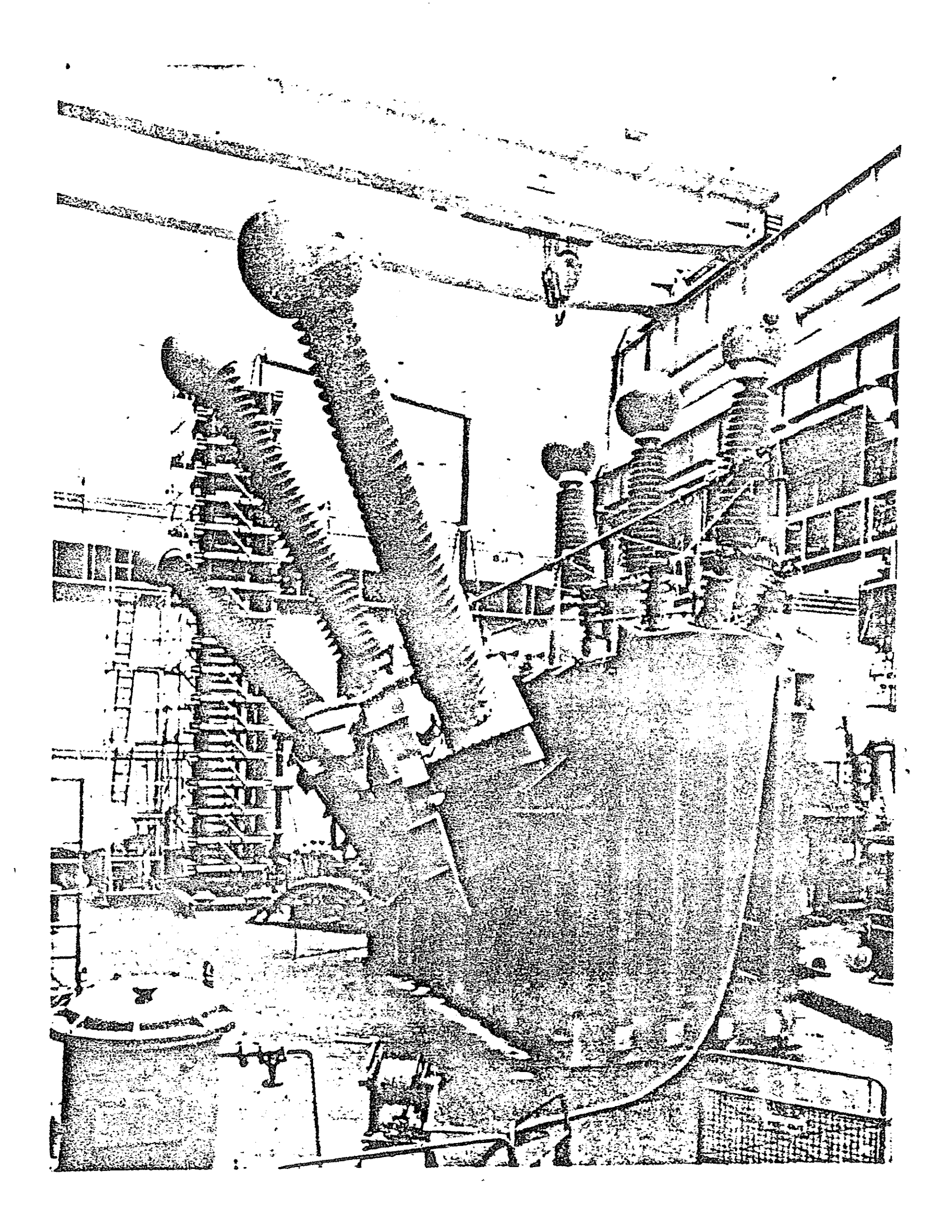
شكل(٢٠-١)



شكل (٢١-١)



شكل (٢٢-١)



شكل (٢٣-١)

محولات التوزيع الجافة

Dry Type Distribution Transformers

حدثت فى الأونة الأخيرة طفرة فى الانشاءات المعمارية حيث أصبحت المبانى شاهقة الارتفاع وذات مساحات واسعة وبالتالى أصبح الحاجة ماسة الى قدرة كهربائية كبيرة. ويفضل فى هذه الحالة تركيب محول توزيع قريب بقدر الامكان من الحمل، إذ أن هذا يوفر تكاليف كابلات الجهد المنخفض، ويحسن تنظيم الجهد ويقلل الفقد. عند تركيب محولات مغمورة فى الزيت داخل هذه المبانى فانها تكون معرضة لمخاطر الحريق، حيث أن الزيت ذو قابلية للاشتعال ويساعد على امتداد وانتشار اللهب. أمكن أستخدام بدائل للزيت، مثل سائل السيليكون المصنع (Silicone Liquid) فى محولات التوزيع، حيث أن من خصائصه عمل طبقة من السيليكون تحجب الهواء عن السطح. من البدائل أيضا استخدام المحولات الجافة لضمان تجنب مخاطر الحريق، وخاصة فى المبانى الرئيسية الكبيرة، ودور السينما، والمناجم تحت الأرض، والانفاق، والأماكن ذات المخاطر العالية مثل معامل التكرير.

والمحول الجاف ببساطة هو المحول الذى يحتوى على قلب وملفات محاطة بالهواء أو بأى غاز طبيعى. بينما يعرف المحول الجاف، طبقا للمواصفات القياسية المصرية، بأنة محول ليست ملفاته وقلبه مغمورين فى السائل العازل.

تنقسم المحولات الجافة الى نوعين:

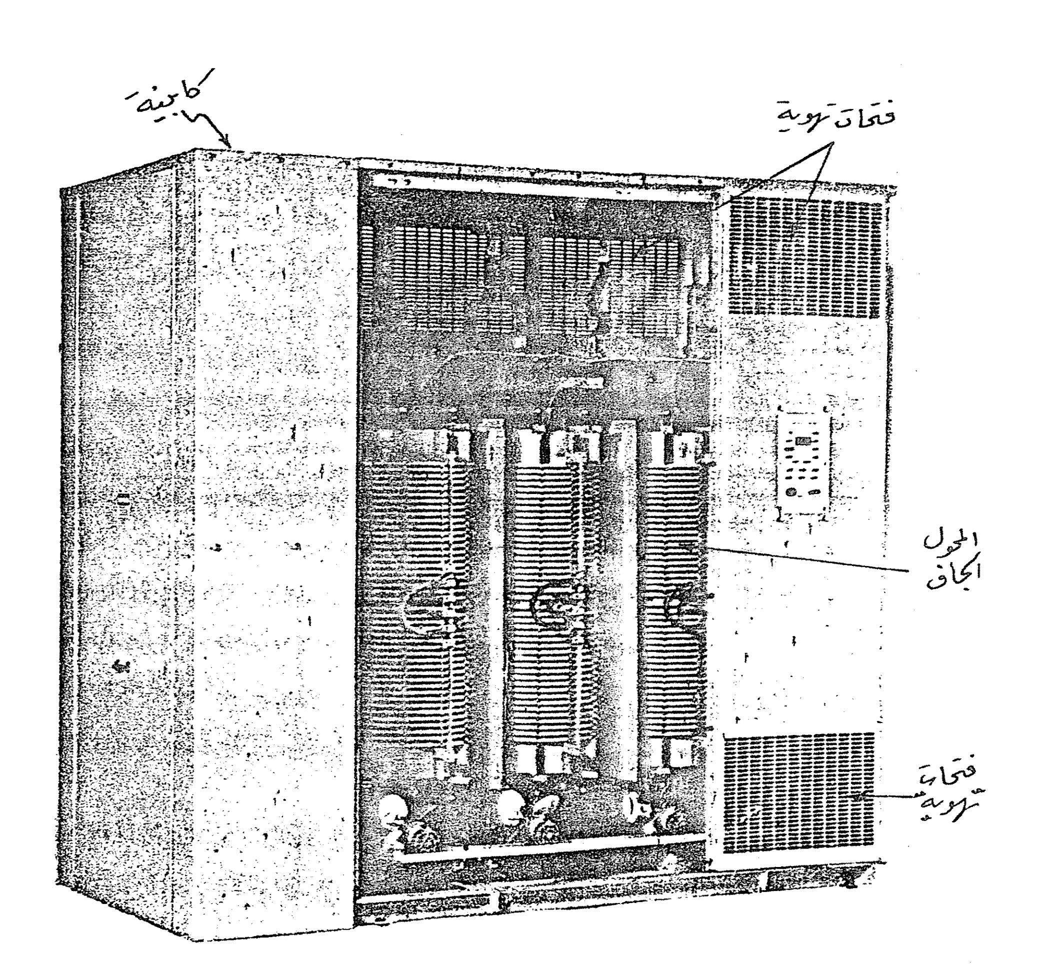
١- محولات جافة موضوعة داخل كابينة

Enclosed Dry Type Transformers

يوضع المحول داخل كابينة مجهزة بفتحات تهوية من أسفل ومن أعلى، كما فى شكل (١ - ٢)،لتبريد المحول بالهواء الطبيعى، ويمكن أن تضاف مراوح أسفل المحول للحصول على قدرة مقننة اكبر بنسبة $\frac{1}{3}$ ٣٣ ٪.

شكل (٢ -٢) يوضح محول جاف ثلاثى الأوجه مقنناة كالأتى:

١٥٠٠ ك .ف . أ، ١١ ك .ف / ٤٣٣ ڤولت، ٥٠ هرتز مجهز بنقط تقسيم على الملف الابتدائى بحدود ± ٢,٥٪، ± ٥٪ أنتاج شركة Bonar Brentford الأنجليزية.



شكل(١-٢)

شكل (٣ -٢) يوضح محول جاف ثلاثى الأوجه مركب داخل كابنية تحتوى على فتحات تهوية من أسفل ومن أعلى وكذلك يحتوى على صندوق نهاية كابلات مقننات المحول: ٥٠٠ ك . ف . أ، ٥٠ هرتز، ١١ ك .ف / ٤٣٣ فولت. انتاج انجليزى.

٢- محولات جافة محكمة الغلق Sealed Dry - Type Transformers

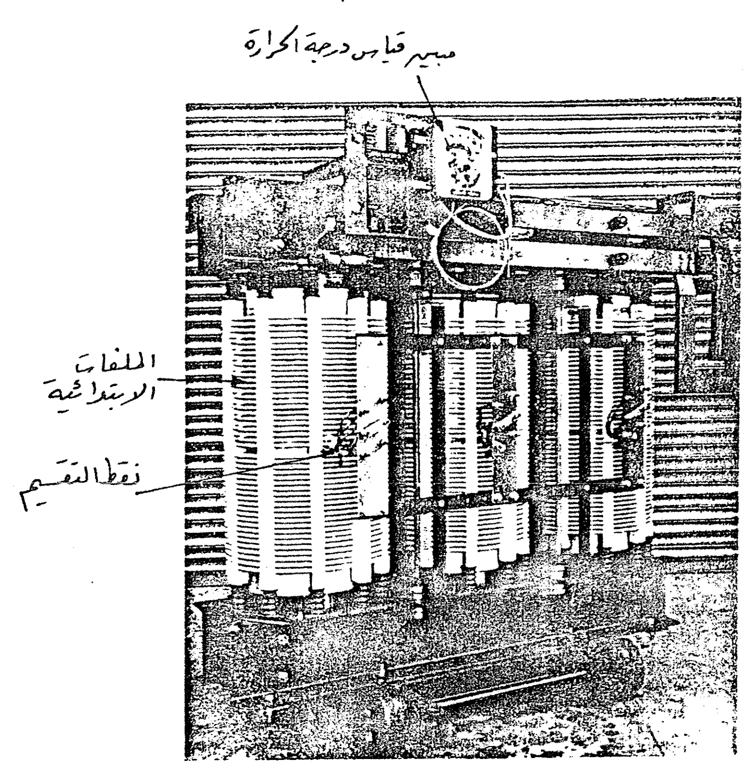
يوضع القلب والملفات فى خزان مملوء بالهواء أو غاز النتيروچين الجاف عند ضغط أعلى من الضغط الجوى، ويكون الخزان محكم الغلق، ويعتبر الهواء أو الغاز كوسط للتبريد وكمادة عازلة. يستخدم هذا النوع اذا كان جو البيئة، التى سيتم تركيب المحول بها، يحتوى على أتربة معدنية أو جو مملح. هذه المحولات لا تحتاج لعمل صيانة لها.

المحولات الجافة تعمل عند درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة التى تعمل عندها المحولات المغمورة فى الزيت. وتسخدم مواد عازلة تتحمل هذه الحرارة. حدود درجة الحرارة ١٨٥° - ٢٢٠°م

للمحولات الجافة التى تبرد بالهواء. يجب الا تزيد درجة الحرارة القصوى للهواء المحيط عن ٤٠°م ولا تقل درجة الحرارة الصغرى للهواء المحيط عن - ٢٥° م (للمحولات التى تسخدم خارج المبانى) ولاتقل درجة الحرارة الصغرى للهواء المحيط عن - ٥°م (للمحولات التى تسخدم داخل المبنى)، وكذلك يجب الا يزيد المتوسط السنوى لدرجة حرارة الهواء المحيط عن ٣٥°م.

حيث أن المحولات الجافة تعمل عند درجة حرارة ٢٢٠°م، فان الملفات والقلب تكون اكبر حجما من مثيلاتها فى المحولات المغمورة فى الزيت وكذلك تحتاج إلى مواسير تبريد أكبر.

المحولات ذات القدرة ١٠٠٠ ك . ف. أ أو أكثر تكون مساحة التبريد لها غير كافية لتبديد المفقودات الناتجة فى القلب والملفات يتم تزويد التبريد عن طريق اضافة مراوح. حاليا أمكن تصنيع محولات جافة حتى ٢٤ ك . ف وبقدرة حتى ٥ م ف. أ.



شكل(٢-٢)

فتحات تهوية

كابينة

فتحات تهوية

شكل(٣-٢)

شكل (٤ -٢) يوضح محول جاف ثلاثى الأوجه للتركيب بمناجم التعدين – من النوع المحكم. مقننانة: ٥٠٠ ك .ف .أ، ٥٠ هرتز، جهد الملف الابتدائى ٣.٣ ك .ف، يحتوى على ملفين ثانويين جهدهما ١١٣٠، ٥٦٥ ڤولت.

شكل (٥ -٢) يوضح محول جاف ثلاثى الأوجه – من النوع المحكم – مملوء نتروجين ١١ ك .ف، ٥٠ هرتز، ويحتوى على مبين ضغط النتروجين.

شكل (٦-٢) يوضح محول جاف ثلاثى الأوجه – من النوع المحكم – يحتوى على صندوق نهاية كابلات. مقننانة: ٧٥٠ ك .ف .أ، ٥٠ هرتز، ١١٠٠٠/ ٣٩٥ ڤولت

١ – ٢ ملفات المحولات الجافة Coils For Dry - Type Transformers

تصنع الملفات من النحاس أو الألونيوم، ويوجد نوعان من الملفات هما:

١- الملفات من النوع المفتوح Open Winding Type

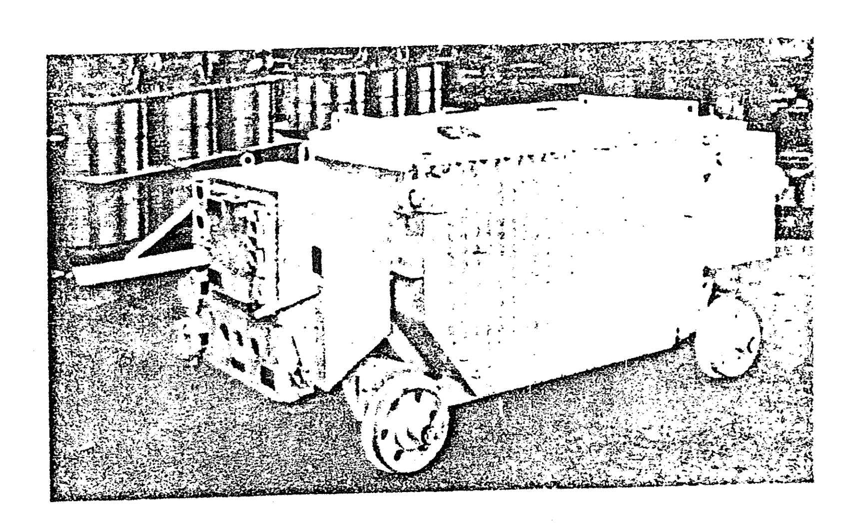
تتكون ملفات الجهد المنخفض من طبقتين من الملفات على شكل لولبى حلزونى Two - Layer Spiral Helical Coils، بينما ملفات الجهد العالى عبارة عن قرص مستمر (Continuous Disc Coil)، أو من النوع المتراكب (Crossover Coils). بعد لف الملفات، يتم غمسها فى طلاء (أو ورنيش) تحت التفريغ (Vacuum)، وعند درجة حرارة تشغيل المحول. يتم تجميع القلب والملفات بالطريقة التقليدية لتجميع أى محول، ولكن يجب أن تكون المواد العازلة المستخدمة تتحمل درجات الحرارة العالية التى يعمل عندها المحول.

٢- النوع المغلف Encapsulated

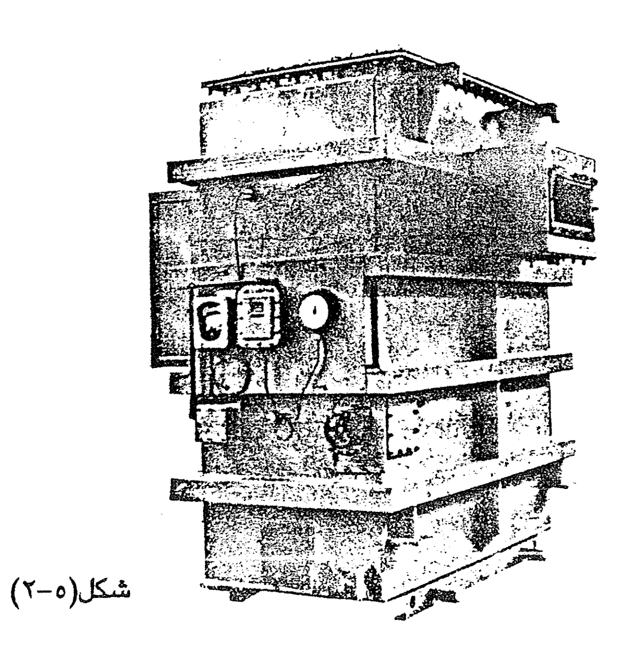
ملفات الجهد المنخفض عبارة عن ألواح من الالمونيوم (Sheet Aluminum Winding)، بينما ملفات الجهد العالى تتكون من ملفات من النوع المتراكب (Crossover Winding)، أو من رقائق معدنية (Foil Winding). تغمر الملفات تحت تفريغ، للتخلص من جميع الفقاعات الهوائية، فيتحسن العزل ويقاوم الرطوبة، وتغلف بمادة الراتنجات (Resin) عند درجة حرارة مناسبة، حوالى ١٥٥م.

شكل (٧-٢) أ يوضح ملفات من النوع القرصى مناسبة للجهود أعلى من ٨,٦ ك.ف

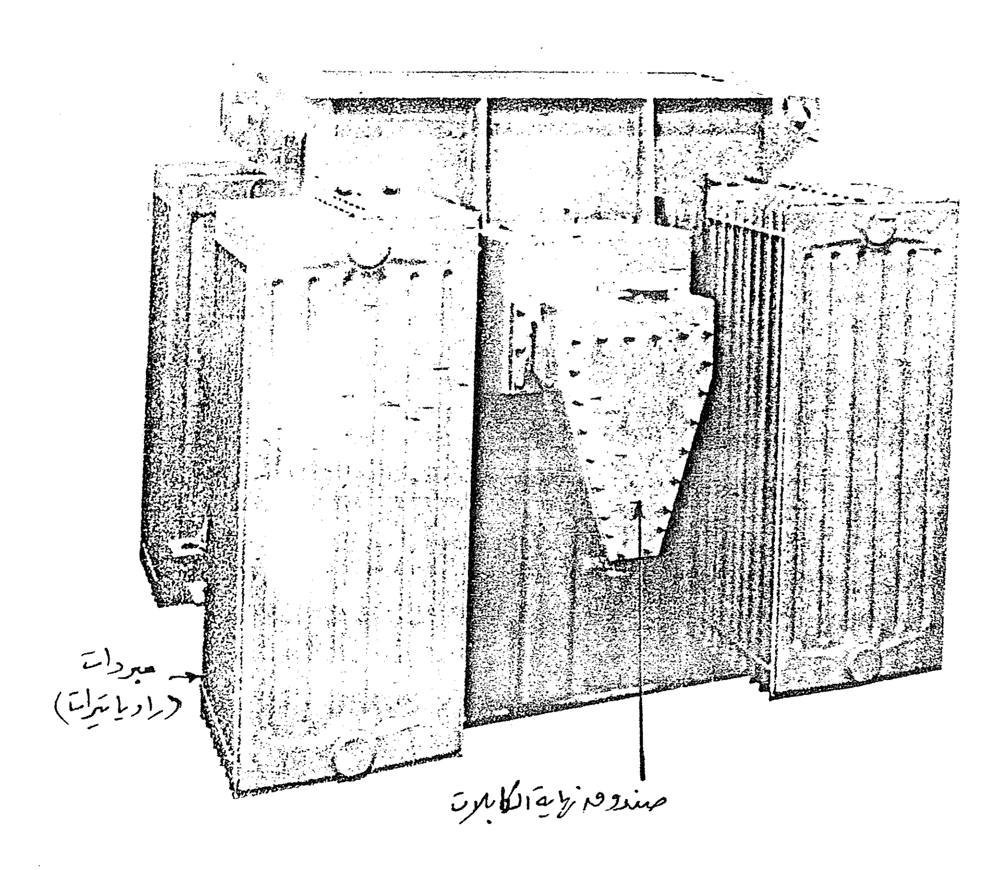
شكل (٧ -٢) ب يوضح ملفات من النوع الاسطوانى، ويستخدم للجهود حتى ٨,٦ ك. ف



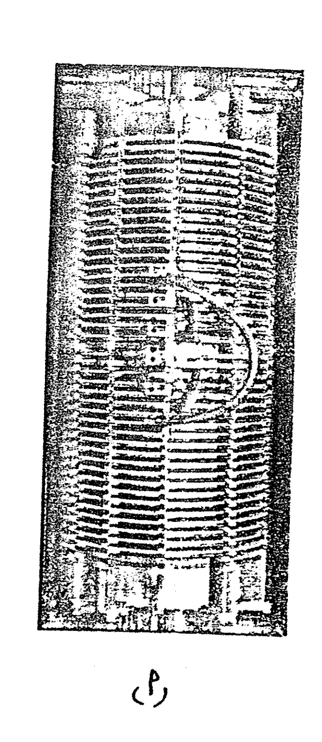
شكل(٤-٢)



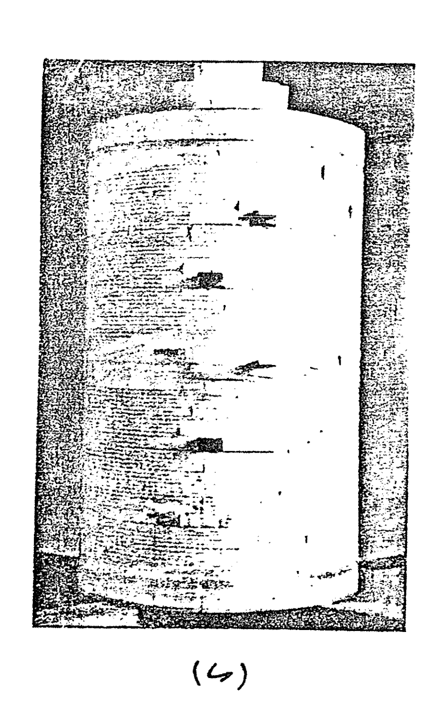
شكل(٥-٢)



شكل(٦-٢)



(أ)



(ب)

شكل(٧-٢)

يعتمد أختيار نوع الملفات على القدرة المقننة والجهد المقنن، ويفضل استخدام الملفات على شكل قرص للجهود العالية، لأن خاصية توزيع الجهد على الملفات يكون أفضل من أنواع الملفات الأخرى. جدول (١ -٢) يوضح أقل مستوى عزل للملفات طبقا للمواصفات القياسية الأمريكية ANSI تصنف المواد العازلة المستخدمة لملفات المحولات الجافة تبعا للجدول الآتى:

الدرجة Class	المـــــواد العـــــازلة	درجة الحرارة
B	ميكا – الياف صناعية – اسبستوس	١٣٠م
F	ميكا – الياف صناعية – اسبستوس باضافة مواد رابطة تتحمل المقاومة الحرارية العالية	١٥٥م
H	الياف صناعية – اسبستوس – ميكا مع اضافة راتنج سليكونى	١٨٠م

تحدد المواصفات القياسية العالمية IEC حدود درجة الحرارة المحيطة للمحولات الجافة كالآتى:

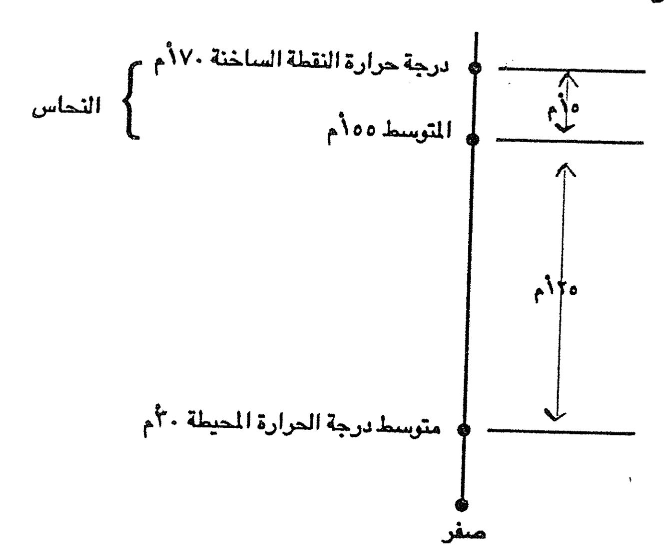
- أقصى درجة حرارة محيطة ٤٠م
- متوسط درجة الحرارة اليومى ٣٠م
- متوسط درجة الحرارة السنوى ٢٠م

طرق التبريد طبقا للمواصفات القياسية العالمية IEC وحدود درجة الحرارة كالآتى:

تبريد هواء طبيعى (A N) – تبريد هواء مدفوع باستخدام مراوح (AF) ويكون متوسط وأقصى ارتفاع درجة حرارة النحاس كالآتى:

الدرجة	متوسط ارتفاع درجة حرارة النحاس (درجة مئوية)	أقصى ارتفاع فى درجة حرارة النحاس (درجة مئوية)
B	٨٠	٩٠
F	١٠٠	١١٥
H	١٢٥	١٤٠

ويكون تدريج درجة الحرارة



٢-٢ قلب المحولات الجافة Core For Dry - Type Transformers

يصمم القلب من شرائح من الصلب السليكونى مسحوب على البارد فى اتجاه الحبيبات (Cold Rolled Grain Oriented Silicon Steel) ذو سماحية عالية. بعد تجميع القلب والملفات يتم وضعها على هيكل صلب، وعمل رباطات ضغط للقلب، وتثبيت مناسب للملفات، كما فى شكل (٢-٢). تكون الملفات مربوطة جيدا لتتحمل الاجهادات الديناميكية الناتجة عن حالات القصر – كذلك لتقليل مستوى الضوضاء بقدر الامكان.

جدول رقم (٢-٢) يوضح قيم مستوى الضوضاء، طبقات للمواصفات القياسية NEMA

جدول (١ -٢)

جهد النظام العادى KV	مستوى النبضة الأساسية Basic impluse level BIL (KV)
١,٢	١٠
٢,٥	٢٠
٥	٣٠
٨,٦٦	٤٥
١٥	٦٠
١٤,٤/٢٥	١١٠
٢٥	١١٠
١٩,٩/٣٤,٥	١٢٥
٣٤,٥	١٥٠

جدول (٢ -٢)

الجهد	القـــدرة ك.ف.أ	مستوى الضوضاء (ديسيبل)
حتى ٦٠٠ ڤولت	حتى ٩	٤٠
	١٠ - ٥٠	٤٥
	٥١ - ١٥٠	٥٠
	١٥١ - ٣٠٠	٥٥
	٣٠١ - ٥٠٠	٦٠
٦٠٠ ف إلى ١٥ ك.ف	حتى ٣٠٠	٥٨
	٣٠١ - ٥٠٠	٦٠
	٥٠١ - ٧٠٠	٦٢
	٧٠١ - ١٠٠٠	٦٤
	١٠٠١ - ١٥٠٠	٦٥
	١٥٠١ - ٢٠٠٠	٦٦
	٢٠٠١ - ٣٠٠٠	٦٨

٢-٣ المجموعة الاتجاهية للمحولات الجافة:

١- المحولات الجافة أحادية الوجه

يتم توصيل الملفات كالآتى:

أ- ملف ابتدائى واحد - ملفين ثانونين Single Primary - Dual Secondary

كما فى شكل (٨ -٢) أ، فان $H_1 - H_2$ هى أطراف الملف الابتدائى، الذى يحتوى علـــى نقـــط تقسيم 2, 3, 4, 5, 6,7 لتنظيم الجهد - الملفات الثانوية عبارة عن $x_3 - x_4$, $x_1 - x_2$

ب- ملفين ابتدائيين - ملف ثانونين Dual Primary - Dual secondary

كما فى شكل (٨ -٢) ب، أطراف الملفين الابتدائيين $H_3 - H_4$, $H_1 - H_2$ وأطراف الملفين الثانويين $x_3 - x_4$, $x_1 - x_2$

٢- المحولات الجافة ثلاثية الأوجه:

تكون المجموعة الاتجاهية أما Dy (دلتا - نجمـة) كمـا فـى شـكل (٩-٢) أ أو Dd (دلتا - دلتا) كما فى شكل (٩ -٢) ب يلاحظ بالرسم احتواء الملفات الابتدائية على نقط تقسيم. جدول (٣ -٢) يوضح قيم مفقوادات اللاحمل والحمل ، ونسبة المعاوقة، أقصى تيار قصر، وتيار اللاحمل لمحولات جافة ثلاثية الأوجه، لقدرات من ١٦٠ ك .ف . أ إلى ١٠م. ف. أ وللجهود أقل من ٣٦ ك .ف، وهذه المحولات ذات درجة عزل (F).

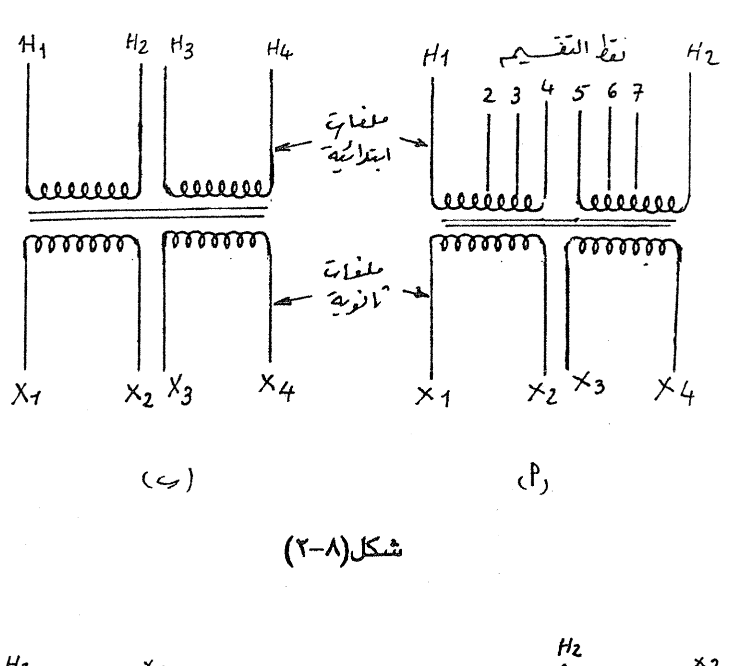
٢-٤ مميزات المحولات الجافة:

١- المحولات الجافة لا تتسبب فى مخاطر الحريق والانفجارات، بالمقارنة بالمحولات الزيتية، التى يساعد فيها الزيت على انتشار الحريق، وعلى ذلك فان المحولات الجافة أكثر أمانا وموثوقا بها.

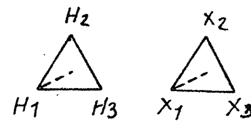
٢- المحولات الجافة لا تحتوى على مادة سائلة عازلة، وبالتالى لا تتسرب هذه المادة وتتسبب فى مشاكل كما فى المحولات السائلة.

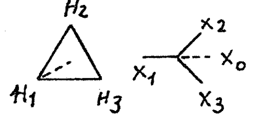
٣- المحولات الجافة أقل تكلفة من مثيلاتها.

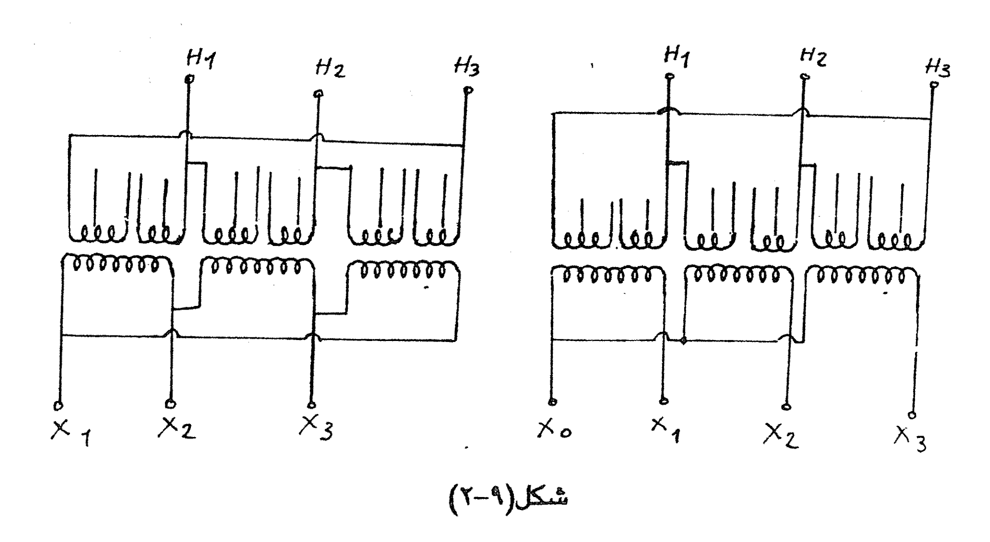
٤- تحتوى المحولات ذات العوازل السائلة على معدات (Gadgets) معقدة تحتاج لأشخاص مهرة لتشغيلها وصيانتها، بينما لا تحتوى المحولات الجافة على مثل هذه المعدات.


H1
H2
H3
H4
نقط التقسيم
2 3 4 5 6 7
ملفات ابتدائية
ملفات ثانوية
X1
X2
X3
X4
(ب)
(أ)

شكل(٨-٢)


H2
H1
H3
X2
X1
X3


H2
H1
H3
X2
X1
Xo
X3


H1
H2
H3
X1
X2
X3
Xo

شكل(٩-٢)

جدول (٣ –٢)

قيمة أعلى جهد للنظام (الجهد العالى) (ك.ف)	الجهد المنخفض (فولت)	القدرة (ك.ف.أ)	مفقودات اللاحمل (ك.وات)	مفقودات الحمل(١١٥م) (ك.وات)	نسبة المعاوقة (٪)	تيار الجهد المنخفض (أمبير)	أقصى تيار قصر (ك.أمبير)	تيار اللاحمل (٪)
أقل من أو يساوى ٢٤	٤١٠	١٦٠	٠,٧	٢,٧	٦	٢٢٥	٣,٧٥٥	٢,١
	٤١٠	٢٥٠	٠,٨٥	٣,٨	٦	٣٥٢	٥,٨٧	١,٦
	٤١٠	٤٠٠	١,٢	٥,٢	٦	٥٦٣	٩,٣٩	١,٦
	٤١٠	٦٣٠	١,٦٥	٧,٤	٦	٨٨٧	١٤,٧٩	١,١
	٤١٠	٨٠٠	٢	٨,٨	٦	١١٢٦	١٨,٧٨	١,١
	٤١٠	١٠٠٠	٢,٤	١٠,١	٦	١٤٠٨	٢٣,٤٧	١
	٤١٠	١٢٥٠	٢,٨٥	١٢,٢	٦	١٧٦٠	٢٩,٣٤	٠,٩
	٤١٠	١٦٠٠	٣,٥	١٤,٥	٦	٢٢٥٣	٣٧,٥٥	٠,٨
	٤١٠	٢٠٠٠	٤,٢	١٨	٦	٢٨١٦	٤٦,٩٤	٠,٨
	٤١٠	٢٥٠٠	٤,٨	٢٩	٦,٥	٣٥٢٠	٥٤,١٥	٠,٨
	٤١٠	٣١٥٠	٥,٥	٣٢	٦,٥	٤٤٣٥	٦٨,٢٣	٠,٨
	أكبر من ١٠٠٠	٤٠٠٠	٦,٥	٣٨	أكبر من ٧			
	أكبر من ١٠٠٠	٥٠٠٠	٧,٦	٤٥	أكبر من ٨			
	أكبر من ١٠٠٠	٨٠٠٠	١٠,٩	٥٥	أكبر من ٨			
	أكبر من ١٠٠٠	١٠٠٠٠	١٢,٥	٧٠	أكبر من ٨			
أقل من أو يساوى ٣٦	٤١٠	٦٣٠	٢,١	٧,٤	٦	٨٨٧	١٤,٧٩	١,٥
	٤١٠	٨٠٠	٢,٦	٨,٨	٦	١١٢٦	١٧,٧٨	١,٥
	٤١٠	١٠٠٠	٣,١	١٠,١	٦	١٤٠٨	٢٣,٤٧	١,٣
	٤١٠	١٢٥٠	٣,٧	١٢,٢	٦	١٧٦٠	٢٩,٣٤	١,٢
	٤١٠	١٦٠٠	٤,٥	١٤,٥	٦	٢٢٥٣	٣٧,٥٥	١,١
	٤١٠	٢٠٠٠	٥,٤	١٨	٦	٢٨١٦	٤٦,٩٤	١,١
	٤١٠	٢٥٠٠	٦,١	٢٩	٦,٥	٣٥٢٠	٥٤,١٥	١,١
	٤١٠	٣١٥٠	٧	٣٢	٦,٥	٤٤٣٥	٦٨,٢٣	١,١
	أكبر من ١٠٠٠	٤٠٠٠	٨,٣	٣٨	أكبر من ٧			
	أكبر من ١٠٠٠	٥٠٠٠	٩,٧	٤٥	أكبر من ٨			
	أكبر من ١٠٠٠	٨٠٠٠	١٣,٩	٥٥	أكبر من ٨			
	أكبر من ١٠٠٠	١٠٠٠٠	١٥,٦	٧٠	أكبر من ٨			

٥- اذا تم تركيب محول جاف داخل مبنى، فسوف تقل جدا تكاليف كابلات ومواسير الجهد المنخفض.

٦- عند حدوث عطل بالمحول الجاف فانه يمكن تصليحه فى الموقع، بينما تحتاج المحولات ذات العوازل السائلة غالبا للتصليح بالمصنع.

٥-٢ الاختبارات الدورية واختبارات التصميم:

يتم اختيار المحولات الجافة مثل أى محول تقليدى، وقد ذكر فى الجزء الأول من كتاب المحولات الكهربائية الاختبارات التفصيلية، التى تجرى على المحولات، والتى تتخلص فى:

١- قياس المقاومة Winding Resistance

٢- أختبار القطبية Polarity Test

٣- قياس نسبة التحويل Voltage Ratio Test

٤- قياس مفقودات اللاحمل والتيار No - Load Losses and Current

٥- اختبارنسبة المعاوقة وقياس مفقودات الحمل
Percentage Impedance and Load Loss

٦- أختبار أرتفاع درجة الحرارة Temperature Rise Test

٧- أختبارات العزل Dielectric Test

٨- أختبار الجهد النبضى Impulse Test

محولات التعزيز أو الاضافة
Booster Transformers

يعرف محول التعزيز، طبقا للمواصفات القياسية المصرية، بانه محول أحد ملفاته معد لتوصيلة على التوالى بدائرة كهربائية بغرض تغيير الجهد (تعزيز أو زيادة الجهد)، والملف الآخر يعمل كملف تغذية بالطاقة.

يتكون محول التعزيز، مثل أى محول تقليدى، من ملفين ابتدائى وثانوى، منفصلين كهربيا. يتم توصيل الملف الابتدائى مع مصدر الجهد، المراد تحسينه أو رفعه، بينما يوصل الملف الثانوى على التوالى مع الحمل أو مع الخط، ويكون الغرض منه زيادة الجهد أو تعزيزة. ويستخدم غالبا لتحسين جهد خط يكون فقد الجهد به مرتفعا.

شكل (١-٣) يوضح تمثيل محول تعزيز

يمر بملف التوالى (الملف الثانوى) تيار الحمل (تيار الخط الكلى). ولذلك يجب أن يتحمل محول التعزيز مرور تيارات كبيرة به، وخصوصاً أن معاوقته منخفضة جدا. اذا نتج عن المعاوقة المركبة الناتجة من معاوقة المحول والنظام زيادة مفرطة فى التيار، فيجب عمل الاحتياطات اللازمة، للحد من قيمة تيار قصر الدائرة الى قيمة التيار الزائد المحددة بمعرفة الصانع.

يمكن استخدام محولات التعزيز كالأتى:

١- يتم توصيل ملف التوازى لمحول التعزيز على التوازى مع الملف الثانوى لمحول تقليدى، وتوصيل ملف التوالى لمحول التعزيز مع الحمل كما فى شكل (٢ -٣).

٢- يتم توصيل ملف التوازى لمحول التعزيز على التوازى مع الملف المشترك لمحول ذاتى، وتوصيل ملف التوالى لمحول التعزيز مع الحمل كما فى شكل (٣ -٣). كذلك يمكن استخدام محول التعزيز من خلال مغير جهد عند الحمل On Load Tap Changing حيث يتم توصيل ملف التوازى على مخرج مغير الجهد وتوصيل ملف التوالى مع الحمل كما فى شكل (٤ -٣)، يمكن أن يكون مغير الجهد يدويا أو آليا عن طريق جهاز ذى حساسية للتغيير فى الجهد.

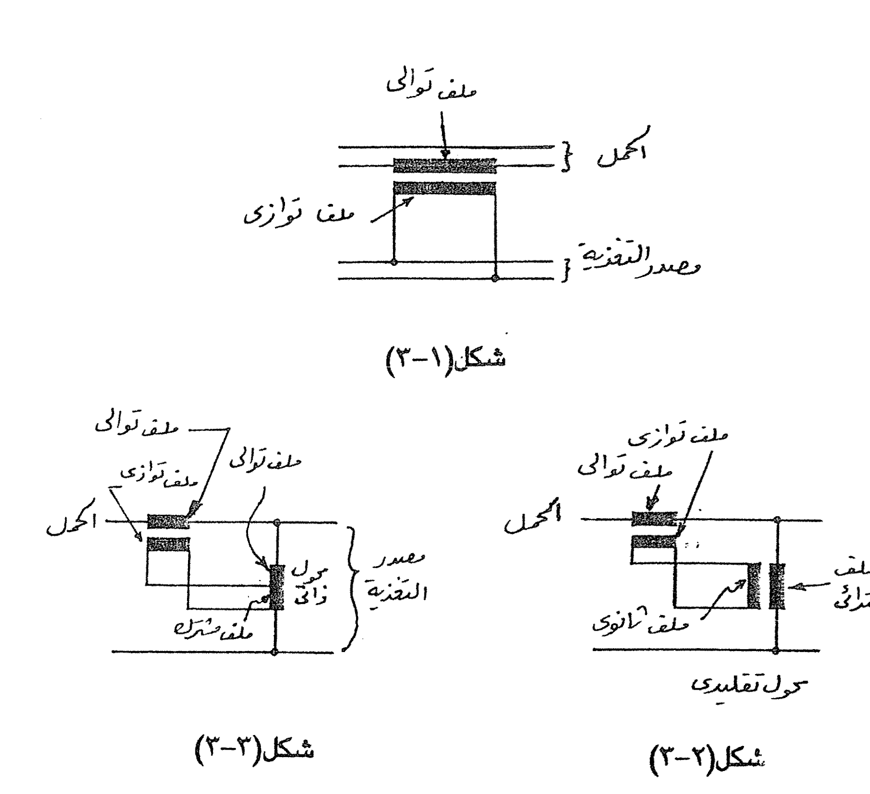
اذا حدث فتح للدائرة الثانوية لمحول التعزيز، مثلا انهيار المصهرات أو أى سبب آخر، فان المحول يعمل كملف خانق Choke ويمكن أن ينهار المحول ولذلك يجب عمل أحتياطات لهذه الحالة.

القدرة المقننة لمحول التعزيز Rating of Booster Transformer

القدرة لمحول أحادى الوجه = $\frac{\text{تيار الخط} \times \text{جهد محول التعزيز}}{١٠٠٠}$ ك.ف.أ

القدرة لمحول ثلاثى الأوجه = $\frac{\sqrt{٣}\ \text{تيار الخط} \times \text{جهد محول التعزيز}}{١٠٠٠}$ ك.ف.أ

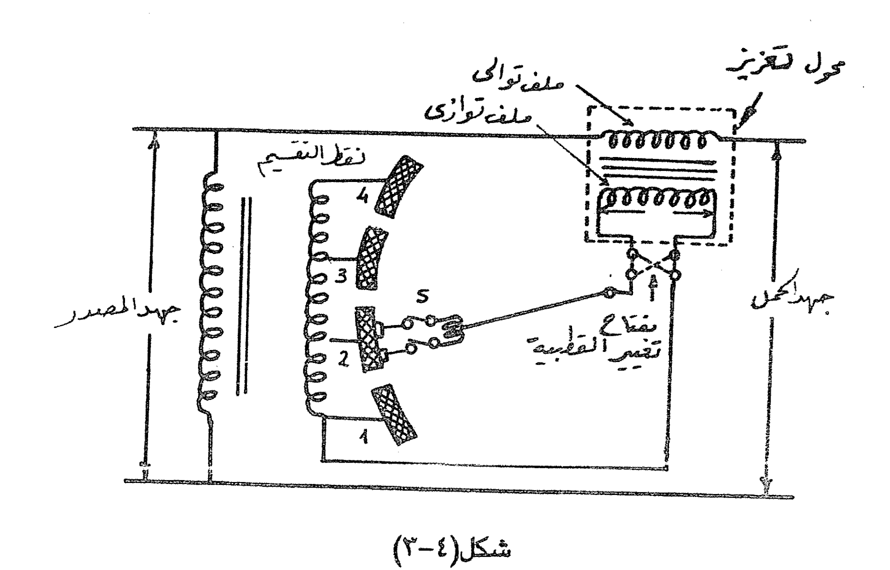
أو قدرة المحول = قدرة الحمل ك.ف.أ × نسبة زيادة الجهد ك.ف.أ



شكل(٣-١)

شكل(٣-٢)

شكل(٣-٣)



شكل(٣-٤)

محولات التيار

Current Transformers (C.T)

يتكون محول التيار (C.T) من

- قلب مصنوع من الصلب السيليكونى ذو تركيب الحبيبى المنسق أو مصنوع من سبيكة من الحديد والنيكل، ويمثل الدائرة المغناطيسة.
- ملف ابتدائى عبارة عن موصل ذى مقطع كبير، يتكون من لفة واحدة أو أكثر، ويتصل على التوالى مع الخط (Line) الذى سيتم تركيب محول التيار عليه، ومن هنا جاءت تسمية محول التيار بمحول توالى (Series Transformer) . واذا كان مقنن التيار الابتدائى عاليا، فان الملف الابتدائى يكون عبارة عن موصل مستقيم يمر خلال الدائرة المغناطيسية.
- ملف ثانوى، عبارة عن عدد كبير من اللفات مصنوعة من سلك معزول، تلف على القلب. يتم عزل الملف الابتدائى عن الملف الثانوى بمادة عزل (Insulation) تعتمد على جهد التشغيل، فكلما زاد الجهد كلما زاد عزل الملفات. ويكون الغرض الرئيس من استخدام محولات التيار هو الحصول على تيار اسمى من الملف الثانوى، عند مرور تيار اسمى بالملف الابتدائى معتمدا على نسبة التحويل لمحول التيار، أى معتمدا على عدد لفات الملف الابتدائى والثانوى، واستخدام هذا التيار الثانوى لتغذية أجهزة القياس والوقاية، للحصول على دلالة لحالة المعدة الكهربائية، خط – محول قدرة – مولد ... ، المركب عليها محول التيار من حيث حالة التحميل أو حالات القصر. وتكون القيمة القياسية لتيار الملف الثانوى هى ٥ أمبير أو ١ أمبير، لاعطاء سماحية لتشغيل أجهزة الوقاية والقياس بتيارمقنن ٥ أمبير أو ١ أمبير.

تتخلص الملامح الرئيسية لمحول التيار المثالى فيما يلى:

- قيمة مقاومة وممانعة الملفات الابتدائية والثانوية صغيرة جدا .
- لا يحتاج القلب الى امداد بالطاقة (To enerigize the Core)
- قدرة محول التيار بالفولت أمبير (Volt Ampere) تتمثل، عادة، بملف تيار لعداد أو أمبير متر أو جهاز وقاية؛ وتكون مقاومة الملف صغيرة جدا .

شكل (١–٤) يمثل محول تيار، الملف الابتدائى له عبارة عن موصل مستقيم يمر خلال القلب، والملف الثانوى ملفوف على القلب، وتم توصيل طرفيه على أمبير متر (أميتر).

شكل (٢-٤) يمثل محول تيار، الملف الابتدائى له عبارة عن سلك ذى مقطع كبير عدد لفاته لفتين، وملف ثانوى، الملفين ملفوفين على القلب، تم توصيل طرفى الملف الثانوى على أمبير متر وعداد.

وحيث أن مقاومة ملفات الأجهزة المتصلة على الملف الثانوى صغيرة جدا، فانه يمكن اعتبار محول التيار محولا ذا دائرة قصر على ملفه الثانوى، وذا فيض، وبالتالى تيار مغنطة، مهملا.

٤-١ الدائرة المكافئة لمحول التيار:

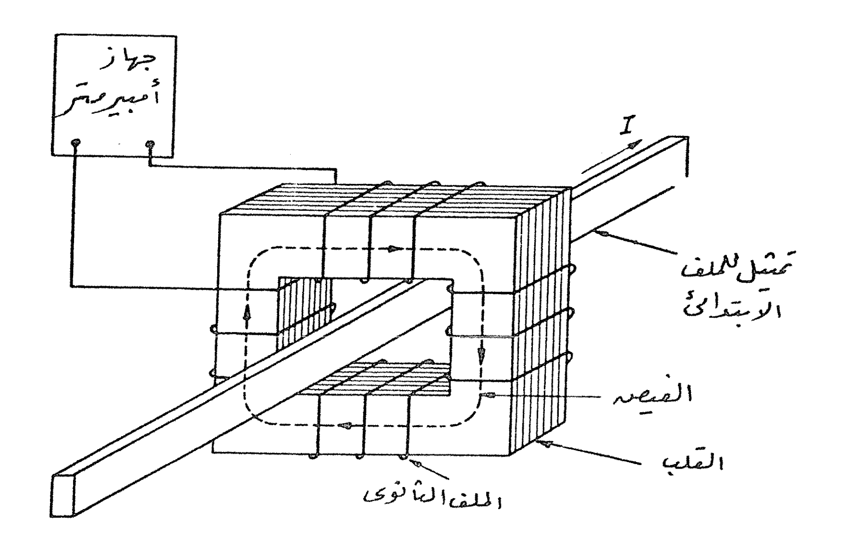
شكل (٣-٤) أ يوضح الدائرة المكافئة لمحول تيار، ab يمثل الملف الابتدائى، cd يمثل الملف الثانوى. نسبة التحويل N_1 / N_2 تساوى 1:n ، نسبت معاوقة الملف الابتدائى Z_1 إلى الملف الثانوى فأصبحت $n^2 Z_1$، معاوقة الملف الثانوى Z_2 ، بينما X_m ، R_m تمثلا مركبة فقد القلب (Core Loss) ، ومركبة الاثارة (Exciting) كذلك Z تمثل معاوقة الحمل الموصل على الملف الثانوى.

يمكن تبسيط الدائرة المكافئة كما فى شكل (٣-٤) ب - فى هذه الحالة اهملت Z_1، R_m لصغر تأثيرهما. يعرف التيار المار فى X_m بتيار الاثارة ويرمز له I_o. بينما شكل (٣-٤) حـ يوضح رسم المرتحلات (Phasors) ويلاحظ أن I_o يتأخر عن V_{cd} بزاوية ٩٠°. وتتسبب I_o فى تقليل قيمة I_2 عن القيمة الحقيقة I_2 / n ، وتتقدم I_2 عنها.

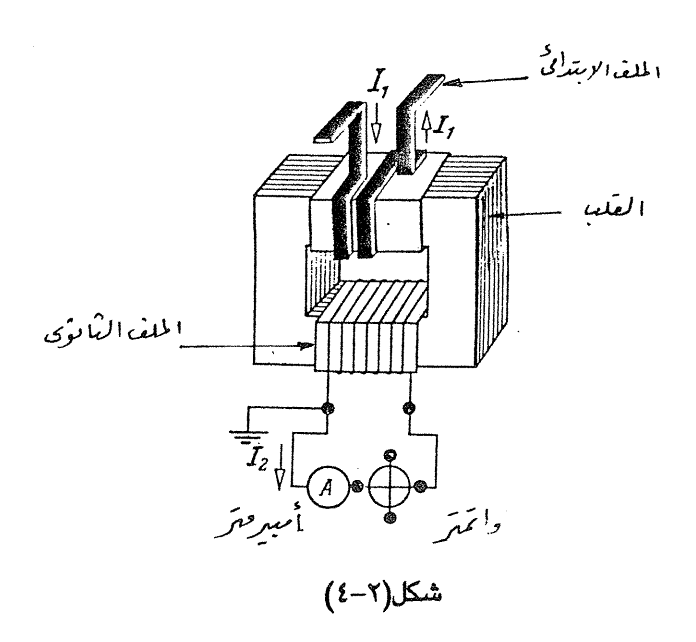
شكل (٤-٤) يوضح طريقة تمثيل محول تيار، عبارة عن ملف ابتدائى عدد لفاته N_1 ويمر به تيار I_1، وملف ثانوى عدد لفاته N_2 ويمر به تيار I_2، موصل على معاوقة Z يخضع المحول للعلاقة:

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

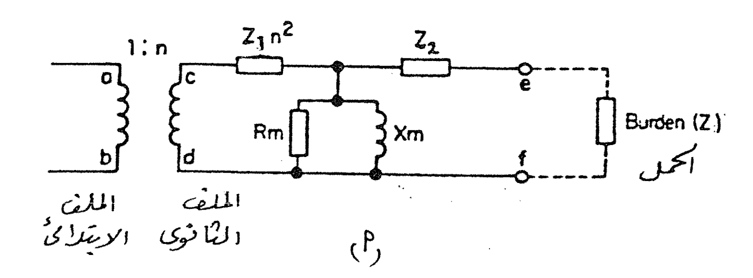
$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \longrightarrow (١)$$

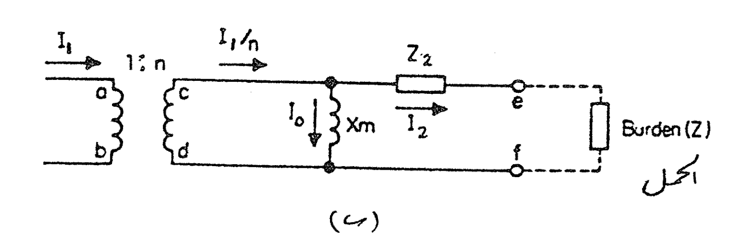

جهاز
أميرميتر
I
تمثل للملف
الابتدائي
الفيض
القلب
الملف الثانوي

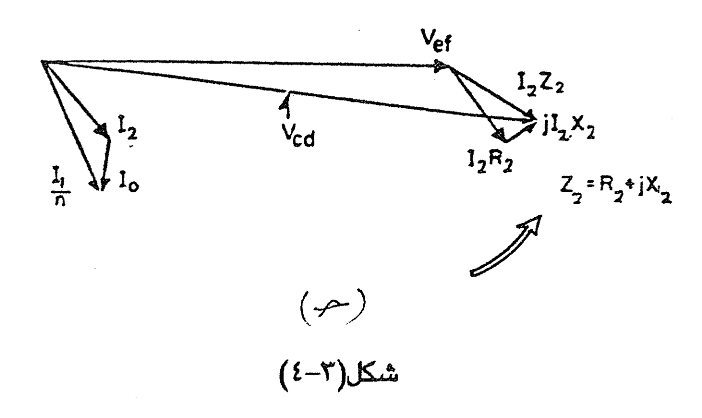
شكل(١-٤)


الملف الابتدائي
I_1
I_1
القلب
الملف الثانوي
I_2
A
أميرميتر
واتميتر

شكل(٢-٤)


1 : n
$Z_1 n^2$
Z_2
a
b
c
d
e
f
Rm
Xm
Burden (Z)
الحمل
الملف الابتدائي
الملف الثانوي
(أ)


I_1
1 : n
I_1/n
Z_2
a
b
c
d
e
f
I_o
Xm
I_2
Burden (Z)
الحمل
(ب)


V_{ef}
I_2Z_2
jI_2X_2
I_2R_2
V_{cd}
I_2
$\frac{I_1}{n}$
I_o
$Z_2 = R_2 + jX_2$
(جـ)

شكل(٣-٤)

تعرف I_1 / I_2 بنسبة التحويل للمحول، وهى تتناسب مع النسبة العكسية لعدد اللفات N_1, N_2

يستهلك القلب تيار مغنطة (Magnetizing Current)، للحصول على جهد على الملف الثانوى E_2

$$E_2 = I_2 Z \longrightarrow (٢)$$

بدلالة بيانات القلب الحديدى يمكن كتابة جهد الملف الثانوى كالآتى:

$$E_2 = \pi \sqrt{2} A B N_2 F . 10^{-8} \quad \text{Volts} \longrightarrow (٣)$$

حيث

A = مساحة مقطع القلب (بوصة مربعة)

B = كثافة الفيض (خط / بوصة مربعة)

يمكن الحصول عليها من منحنى المغنطة للقلب كما فى شكل (٥ -٤)

N_2 = عدد لفات الملف الثانوى

F = التردد (هرتز)

ينشأ عن وجود تيار المغنطة (I_o) أن نسبة التحويل I_1 / I_2 تصبح $(I_1 - I_o) / I_2$. اذا تم قياس تيار المغنطة على الجانب الابتدائى، فانه يرمز له بالرمز (I_{01}). ويكون خطأ نسبة التحويل، نتيجة وجود I_{01} عبارة عن:

$$\frac{\frac{I_1}{I_2} - \frac{I_1 - I_{01}}{I_2}}{\frac{I_1}{I_2}} . 100 = \frac{I_{01}}{I_1} . 100 \longrightarrow (٤)$$

وعند قياس تيار المغنطة على الجانب الثانوى فان خطأ نسبة التحويل، الذى ينشأ عن وجود I_{o2} يصبح:

$$\frac{I_{02}}{I_2} \cdot 100$$

تعتمد قيمة تيار المغنطة على مساحة القلب، كثافة الفيض، الامبير لفات. بالاضافة الى خطأ نسبة التحويل الناتج عن وجود تيار المغنطة، تحدث ازاحة بين I_2، I_1 بزاوية δ، تعرف بزاوية الازاحة (Phase Displacement) ، كما فى شكل(٦ -٤)، ويعبر عنها بالوحدات Minutes, Centriradians (1 Centriradian = 34.3 minutes)

كذلك يمكن تعريف تيار المغنطة (I_0) بدلالة بيانات القلب كالتالى:

$$I_0 = \frac{HL}{N_2} \longrightarrow (٥)$$

حيث

H = شدة المجال المغناطيسى (أو معدل انحدار الجهد المغناطيسى) أمبير/ متر.

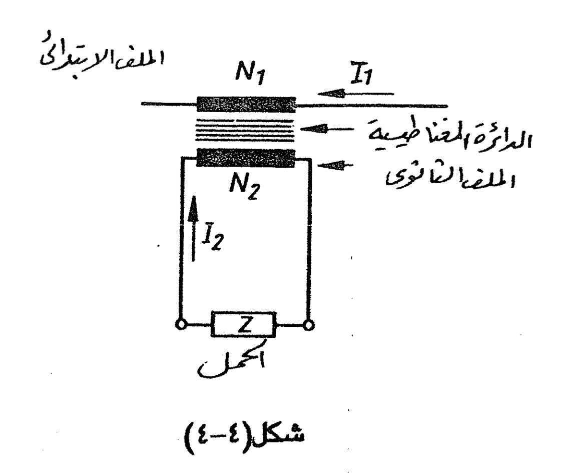
L = طول مسار الدائرة المغناطيسية (متر)

N_2 = عدد لفات الملف الثانوى

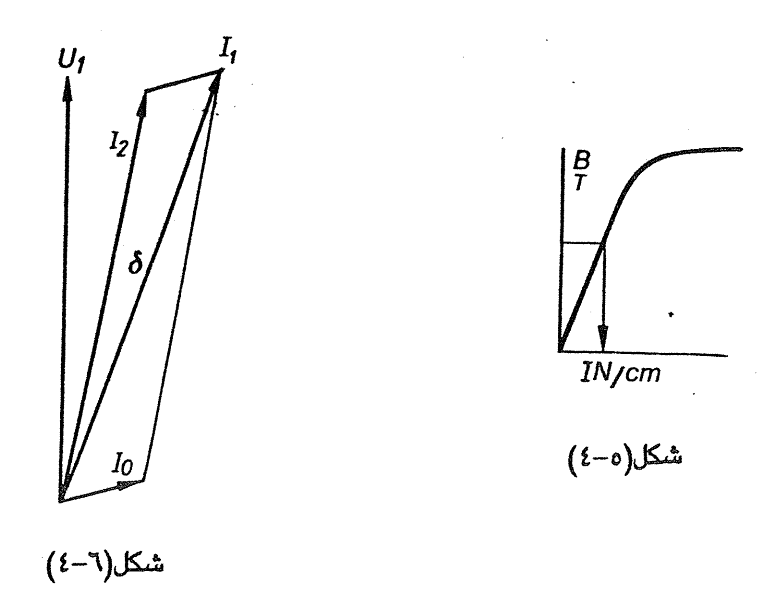
أقصى خطأ نسبة تحويل، وكذلك أقصى زاوية ازاحة يسمح به، يكون بدلالة مراتب الدقة (Accuracy classes) ، كما سيذكر فيما بعد، معتمدا على الغرض الذى يستخدم من أجله محول التيار، ويشمل:

أجهزة قياس - أجهزة مراقبة وتحكم - أجهزة حماية. لكل محول تيار، على حسب نسبة التحويل ونوع القلب المستخدم، منحنى مغنطة للعلاقة بين I_o، E_2 كما فى شكل (٧- ٤)

يكون من الصعب الحصول على كثافة الفيض التى يحدث عندها التشبع، ولكننا نجد أنه بالنسبة لمحولات التيار المصنوعة من الصلب السليكونى يحدث تشبع للقلب

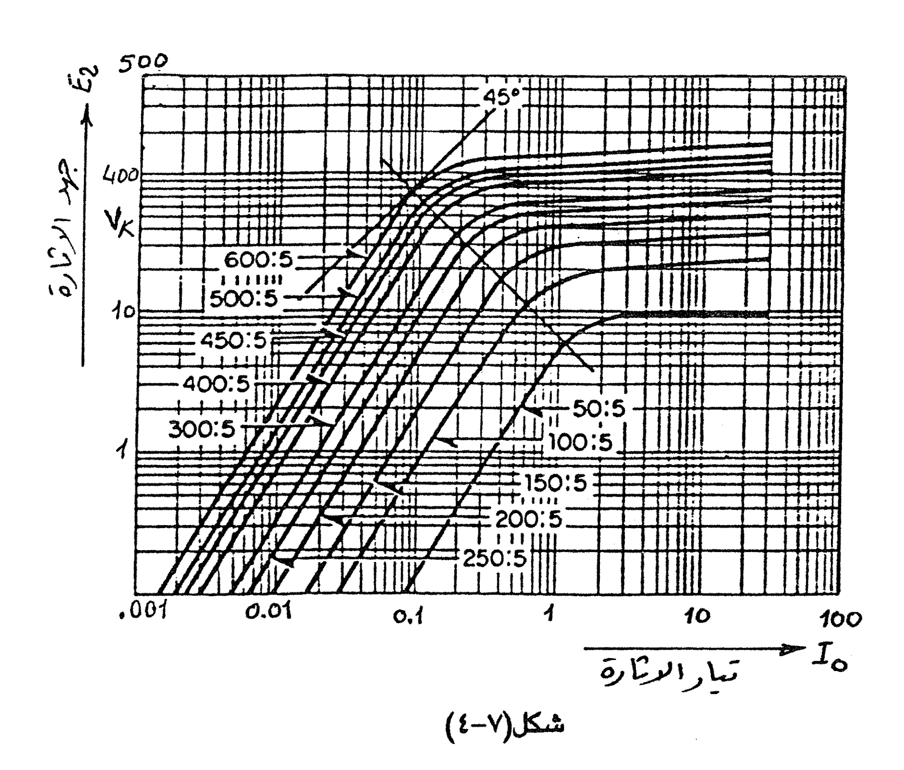


شكل(٤-٤)



شكل(٤-٥)

شكل(٤-٦)



500
400
10
1
E_2
جهد الإثارة
V_K
45°
600:5
500:5
450:5
400:5
300:5
50:5
100:5
150:5
200:5
250:5
.001
0.01
0.1
1
10
100
تيار الإثارة
I_o

شكل(٧-٤)

عموما بين ٧٧٥٠٠، ١٢٥٠٠٠ خط/ البوصة المربعة (القيمة النموذجية ١٠٠٠٠٠ خط/ البوصة المربعة)، ولمعرفة ما اذا كان محول التيار قد وصل الى حالة التشبع أولا، فيمكن تتبع هذا المثال.

مثـــــال:

محول تيار – مصنوعة من الحديد السليكونى– ذو نفاذية عالية – نسبة التحويل 2000/5، مساحة المقطع 3.1 بوصة مربعة ، مقاومة الملفات الثانوية 0.31 أوم أقصى تيار يمكن أن يمر بالمحول 40000A عند 60 Hz، معاوقة الحمل 2 أوم هل يحدث لهذا المحول تشبع تحت هذه الظروف؟

نفرض أنه لم يحدث تشبع للمحول؟ وعلى ذلك نجد أن:

$$I_2 = \frac{40000}{2000/5} = 100 \quad A$$

$$\therefore \quad N_2 = 400$$

$$E_2 = 100\,(2+0.31)) = 231 \quad Volt$$

$$Bmax = \frac{231 \times 10^8}{4.44 \times 60 \times 3.1 \times 400} \longrightarrow \text{من المعادلة (٣)}$$

$$= 70000 \text{ Lines } /in^2$$

حيث أن المحول مصنوع من الحديد السليكونى ذى النفاذية العالية، فان المحول لم يحدث له تشبع.

٢-٤ التعريفات الهامة المستخدمة فى محولات التيار

١– مقنن التيار الابتدائى The Rated Primary Current

هو التيار المار بالملف الابتدائى، بالامبير، ويرمز له بالرمز I_1 أو I_p

٢- مقنن التيار الثانوى The Rated Secondary Current

هو التيار المار بالملف الثانوى نتيجة مرور مقنن التيار الابتدائى I_1 ، ويرمز له بالرمز I_2 أو 1_S (عادة يساوى ٥ أمبير أو ١ أمبير).

٣- نسبة التحويل Turns Ratio

هى النسبة بين مقنن التيار الابتدائى ومقنن التيار الثانوى، أى I_1/I_2 أو Ip / I_S (مثلا 1000/5 , 400/5 , 100/5).

٤- حمل المحول Burden

يتمثل فى قيمة مقاومة ملفات الأجهزة التى سيتم توصيلها على الملف الثانوى لمحول التيار، ويعبر عنها بالأوم، أو بالفولت أمبير (VA) الذىتستهلكه.

٥- خطأ نسبة التحويل The Ratio Error

معادلة رقم (٤) تعرف خطأ نسبة التحويل بأنه الفرق بين نسبة التحويل الحقيقية، ونسبة التحويل نتيجة وجود تيار المغنطة، منسوبة إلى نسبة التحويل الحقيقية، أو تعرف بها النسبة بين تيار المغنطة ومقنن التيار الابتدائى.

٦- الاختلاف المرحلى (الزاوية بين وجهين) The Phase Difference

هو عبارة عن الاختلاف المرحلى بين مقنن التيار الابتدائى (I_1)، ومقنن التيار الثانوى (I_2)، ويقاس بالزاوية δ، كما فى شكل (٦-٤)، ويختار اتجاها التيارين I_2, I_1 بحيث تكون الزاوية δ صغيرة جدا، ويقال أن الاختلاف موجب اذا كان اتجاه التيار الثانوى متقدما على اتجاه التيار الابتدائى.

٧- الحمل المقنن The Rated Burden

وهو عبارة عن قدرة محول التيار مع أخذ قيمة خطأ نسبة التحويل وزاوية الاختلاف المرحلى فى الاعتبار.

٨- خطأ نسبة التحويل الفعالة Effective Ratio Error

هى نسبة الخطأ لقيمة متوسط مربعات القيمة اللحظية لكل من I_1, I_2 منسوبة الى جذر متوسط مربعات (rms value) للتيار الابتدائى I_1

إذا كانت نسبة التحويل ١:١ يعبر عن خطأ نسبة التحويل الفعالة كالآتى:

$$\text{خطأ نسبة التحويل الفعالة} = \frac{100}{I_1}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (I_2 - I_1)^2\, dt}$$

حيث T زمن دورة واحدة

فى هذه المعادلة يؤخذ الاختلاف المرحلى بين $I_1.I_2$ وشكل الموجه فى الاعتبار.

٩- معامل زيادة الحمل المقنن The Rated Over load Factor

(معامل الامان أو معامل التشبع) Or Saturation Index or Safety Factor

هو قيمة مضاعفات مقنن التيار الابتدائى التى عندها يكون خطأ نسبة التحويل الفعالة لا يزيد عن ١٠٪، عند مقنن القدرة، ويرمز له بالرمز (n) ويعبر عنه كالآتى:

$n > ..$ أو $n < ...$

فمثلا بالنسبة للملف الثانوى المستخدم لدوائر القياس تكون $n < 5$ ، ومعنى ذلك أنه عند قيمة أقل من ٥ مرات من قيمة مقنن التيار الابتدائى يجب ألا تزيد نسبة التحويل الفعالة عن ١٠٪.

١٠- درجة الدقة Accurcy Class

تستخدم جداول قياسية لاعطاء معنى لدرجة الدقة بدلالة كل من خطأ نسبة التحويل والاختلاف المرحلى، عند مرور نسبة من مقنن التيار الابتدائى بمحول التيار. جدول (١-٤) يوضح معنى درجة الدقة

جدول (١-٤)

الدرجة Class	خطأ نسبة التحويل ٪ عند					الاختلاف المرحلى بالدقيقة (minutes)				
	$0.1\ I_1$	$0.2\ I_1$	$0.5\ I_1$	I_1	$1.2\ I_1$	$0.1\ I_1$	$0.2I_1$	$0.5I_1$	I_1	$1.2I_1$
0.1	± 0.25	± 0.2	± 0.16	± 0.1	± 0.1	± 10	± 8	± 7	± 5	± 5
0.2	± 0.5	± 0.35	± 0.29	± 0.2	± 0.2	±20	±15	±13	±10	±10
0.3	± 1.0	—	—	± 0.5	± 0.5	± 60	—	—	± 60	± 60
0.5	± 1.0	± 0.75	± 0.66	± 0.5	± 0.5	± 60	± 45	± 36	± 30	± 30
1	± 2.0	± 1.5	—	±1.0	±1.0	±120	±90	—	± 60	± 60
3	—	—	± 3.0	± 3.0	± 3.0	—	—	—	—	—
10 P	—	—	—	± 3.0	—	—	—	—	—	—

جدول (٢-٤) يوضح حدود خطأ نسبة التحويل، والاختلاف المرحلى عند نسبة من مقنن التيار الابتدائى، لدرجات الدقة المختلفة، طبقا للمواصفات القياسية العالمية IEC 185 ، والاستخدامات عند كل درجة دقة.

جدول (٣-٤) يوضح درجات الدقة المختلفة للمواصفات القياسية الخاصة بكل من:

- استراليا رقم المواصفة AS 1675
- كندا رقم المواصفة CSAC 13
- امريكا رقم المواصفة ANSI C57. 13

ومقارنتها بالمواصفات القياسية العالمية IEC 185. والاستخدامات عند كل درجة دقة.

جدول (٢-٤)

الدرجة Class	نسبة المخرج For burden's	حدود الخطأ ٪ من الحمل	 خطأ نسبة التحويل	 الاختلاف المرحلى (دقيقة)	التطبيقات
0.1	25-100% of rated burden	5 20 100 120	0.4 0.20 0.1 0.1	15 8 5 5	القياسات الدقيقة بالمعامل
0.2	25-100% of rated burden	5 20 100 120	0.75 0.35 0.2 0.2	30 15 10 10	أجهزة قياس دقيقة
0.5	25-100% of rated burden	5 12 100 120	1.5 0.75 0.5 0.5	90 45 30 30	أجهزة قياس (تجارية)
1.0	25-100% of rated burden	5 20 100 120	3.0 1.5 1.0 1.0	180 90 60 60	أجهزة قياس (صناعى)
3.0	50-100%	50 120	3.0 3.0	— —	أجهزة قياسات
5.0	50-100%	50 120	5.0 5.0	— —	أجهزة قياسات
5p	100%	100 ALF × I_n	1.0 5[2])	60 —	أجهزة وقاية
10p	100%	100 ALF × I_n	3.0 10[2])	— —	أجهزة وقاية

جدول (٣-٤)

Europe [1]) IEC 185	USA ANSIC57.13	Canada CSAC13	Australia As 1675	
0.2	0.3	0.3	0.5	اجهزة قياس دقيقة
0.5	0.6	0.6	1.0	اجهزةقياس(تجارية)
1.0	1.2	1.2	2.0	اجهزةقياس(صناعى)
—			2.0	اجهزةقياسات
3.0			5.0	اجهزةقياسات
5.0			—	اجهزةقياسات
5PX		—	—	اجهزةوقاية
10PX		—	10p	اجهزةوقاية
5p20		2.5L	10p	اجهزةوقاية
10P20	C(10%)	10L	10p	اجهزةوقاية

١١- التيار المحتمل لزمن قصير Short Time Withstand Current

أو الحد الحرارى للتيار Or The Thermal Current Limit

هو أقصى تيار يمر بالملف الابتدائى، لمحول التيار، لمدة ثانية واحدة، بدون الوصول الى درجة الحرارة التى تؤثر على المادة العازلة المستخدمة (مثلا لمحولات التيار المغمورة فى الزيت لا يجب أن تصل درجة الحرارة الى ٢٥٠°م) ويرمز له بالرمز (I_{th})

اذا لم تذكر قيمة I_{th} فى لوحة بيان محول التيار، أو فى كتالوج الصانع فانه يمكن حسابها من العلاقة.

$$I_{th} = \frac{P_k}{\sqrt{3}\ U_n}$$

حيث

P_k = مستوى القصر (M.V.A) عند الوضع المركب عليه محول التيار (اذا لم تكن P_K معروفة فيمكن اعتبارها قيمة سعة القطع Breaking Capacity لقاطع التيار المستخدم)

U_n = جهد التشغيل (خط - خط) (K v)

من البديهى أن يتحمل محول التيار قيمة تيار القصر المحتمل مروره فى المعدة، خط - محول - مولد، المركب عليها محول التيار، لأنه ان لم يتحمل محول التيار وأنهار، فان المعدة الكهربائية ستصبح غير محمية بأجهزة الوقاية، المتصلة على الملفات الثانوية لهذا المحول، أو بمعنى آخر فان أجهزة الوقاية تصبح كما لو كانت لا ترى ولا تسمع.

يمكن حساب الحد الحرارى للتيار لزمن أكبر من ثانية واحدة من العلاقة

$$I_t^2 . 1 . R = I_x^2 . X . R \qquad \text{Joule}$$

حيث $\therefore \quad I_x = \frac{I_t}{\sqrt{x}}$

I_X = الحد الحرارى للتيار الذى يتحمله المحول لمدة (X) ثانية.

١٢- تيار القصر الديناميكى The Dynamic Current

هو أعلى قيمة مسموحة ويتحملها محول التيار عند حدوث قصر على الملفات الثانوية، دون أن يحدث للمحول تلف كهربى أو ميكانيكى ويرمز له بالرمز I_{dyn} تنص المواصفات القياسية على ألا يقل تيار القصر الديناميكى عن ٢,٥ مرة من الحد الحرارى للتيار ويفضل أختيار محولات التيار التى تتحمل قيم أعلى من ذلك.

٣-٤ طريقة تمثيل محول التيار (Symbole)

كما ذكر سابقا، يتكون محول التيار من ملف ابتدائى، وملف ثانوى، وقلب حديدى وشكل (٣-٤) يوضح طريقة تمثيل محول التيار. شكل (٨-٤)أ يوضح الطرق المختلفة لتمثيل محول تيار، يحتوى على ملف ثانوى واحد، وتكتب نسبة التحويل كالآتى:
100 / 5 أو 800 / 5 مثلا.

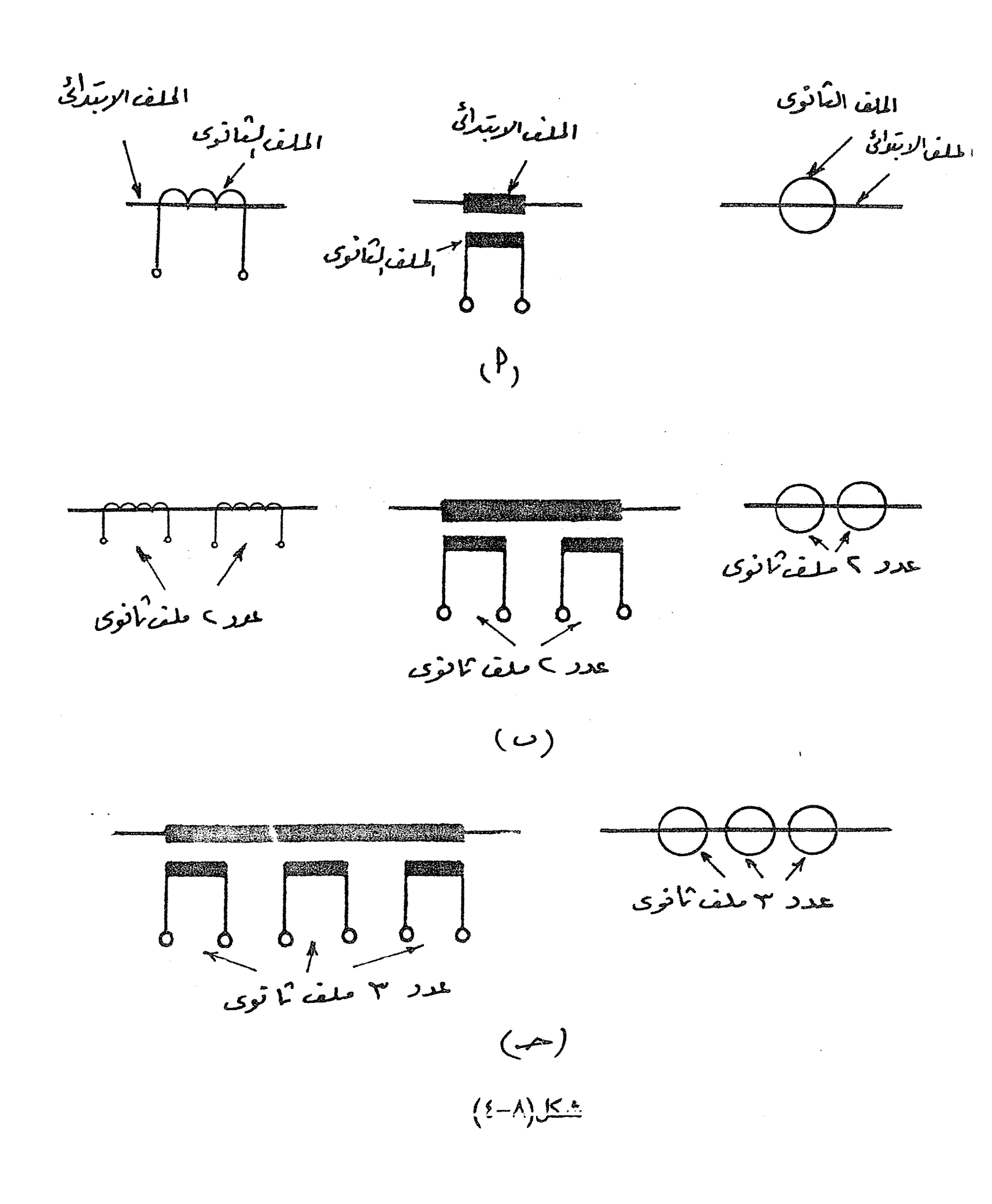
يمكن أن يحتوى محول التيار على أكثر من ملف ثانوى، كما فى شكل (٨-٤) ب حيث يحتوى المحول على عدد ٢ ملف ثانوى وتكتب بياناته كالآتى:

نسبة التحويل = 100 /5 /5 A

القدرة = 15 30 VA

درجة الدقة = 0.5 5p 20

معنى ذلك أن أحد الملفين الثانويين قدرة المخرج له 15 VA ودرجة الدقة 0.5 ويستخدم لأجهزة القياس، بينما الملف الآخــر قـدرة المخرج له 30 VA ودرجة الدقة 5 p 20 ويستخدم لأجهزة الوقاية.



الملف الابتدائي
الملف الثانوي
الملف الابتدائي
الملف الثانوي
الملف الثانوي
الملف الابتدائي
(أ)
عدد ٢ ملف ثانوي
عدد ٢ ملف ثانوي
عدد ٢ ملف ثانوي
(ب)
عدد ٣ ملف ثانوي
عدد ٣ ملف ثانوي
(حـ)

شكل (٨-٤)

يمكن أن يحتوى محول التيار على عدد ٣ ملفات ثانوية كما فى شكل (٨-٤) حـ وتكتب بياناته كالآتى:

نسبة التحويل =	750	/5	/5	/5	A
القدرة =		15	30	30	VA
درجة الدقة =		0.5	5p 20	5p 20	

شكل (٩-٤) يوضح طريقة تمثيل مخرج أطراف الملفات الثانوية، لمحول التيار، وترتيبها على الروزتة (أماكن ربط أطراف الملفات الثانوية مع الأسلاك الخاصة بأجهزة الوقاية والقياس)، والرموز المستخدمة.

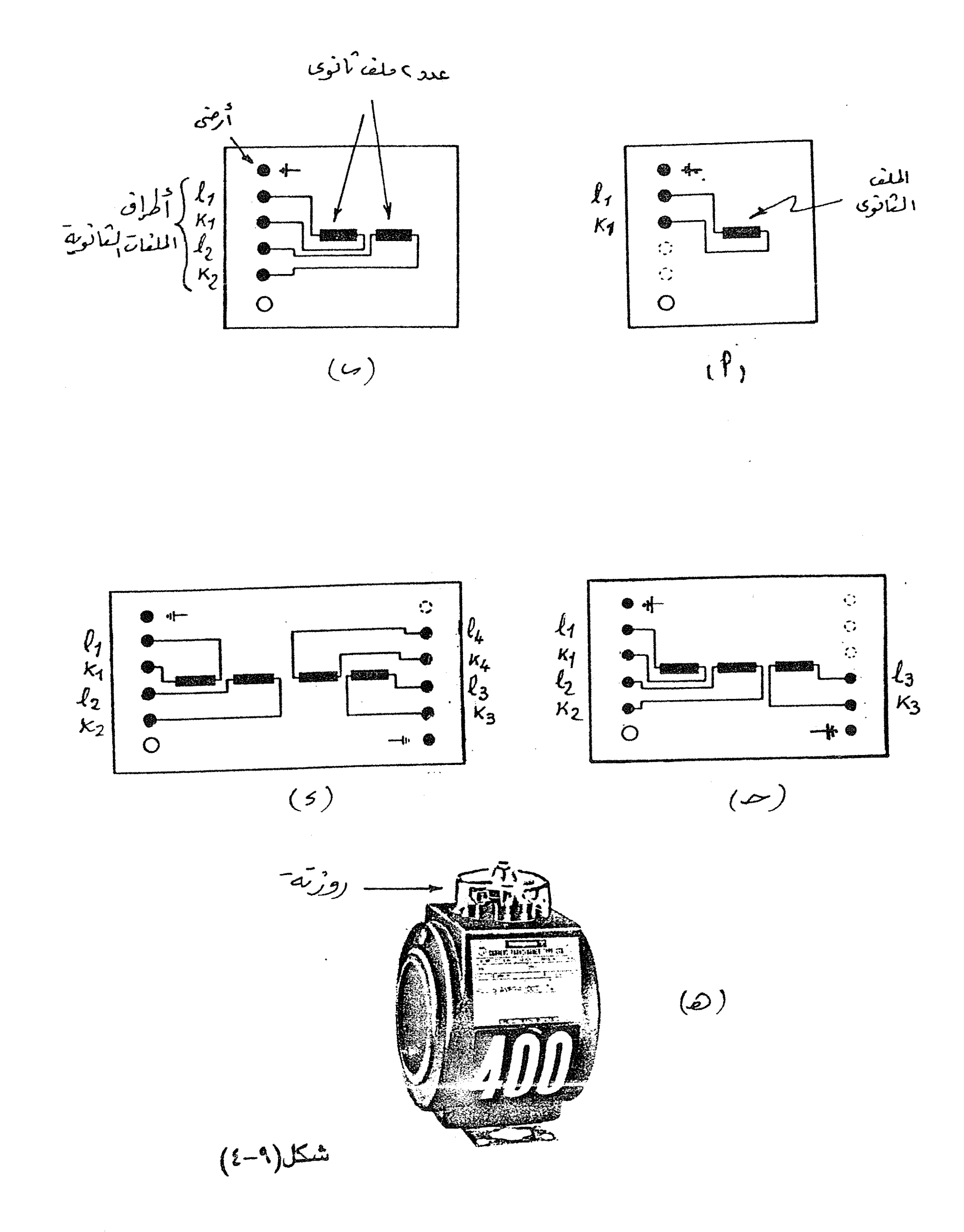
شكل (٩-٤)أ يوضح محول التيار يحتوى على ملف ثانوى واحد ويرمز لطرفيه بالرمزين K_1, L_1 ، بينما شكل (٩-٤) ب يوضح محول تيار يحتوى على عدد ٢ ملف ثانوى، يرمز لأطراف الملف الثانوى الأول K_1 , L_1 وهو عادة الخاص بأجهزة القياس، ويرمز للآخر K_2, L_2 وهو عادة الخاص بأجهزة الوقاية.

شكل (٩-٤) حـ يوضح محول تيار يحتوى على عدد ٣ ملفات ثانوية يرمز للأطراف K_1 , L_1 – K_2 , L_2 – K_3 , L_3

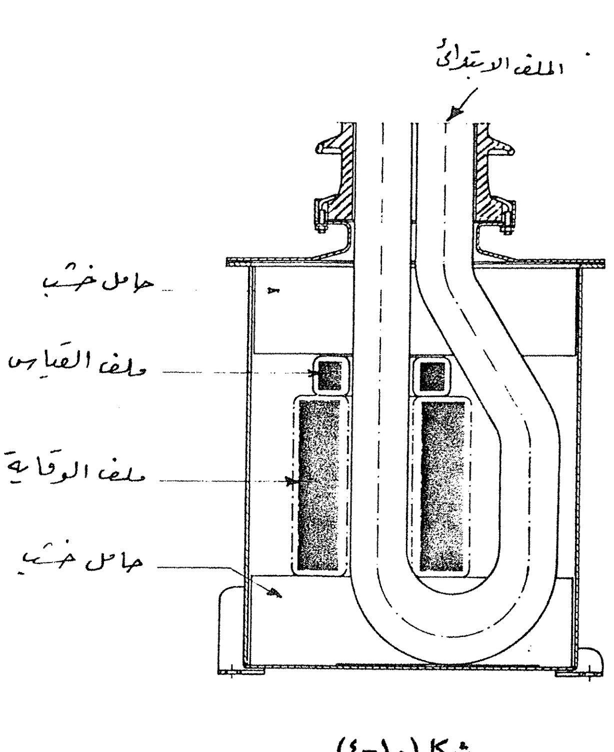
شكل (٩-٤) د يوضح محول تيار يحتوى على عدد ٤ ملفات ثانوية يرمز للأطراف K_1, L_1 - K_2, L_2- K_3, L_3- K_4, L_4

شكل (٩-٤) هـ يوضح مكان الروزتة على محول تيار نسبة تحويله 400 / 5 / 5

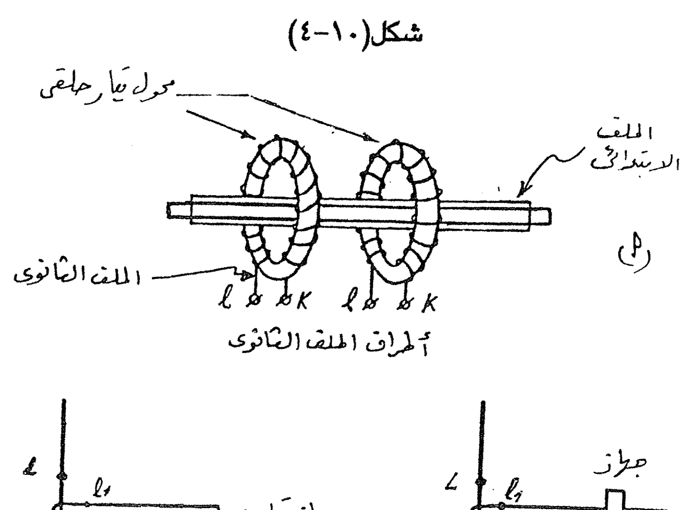
شكل (١٠ -٤) يوضح مقطع فى محول تيار يحتوى على ملفين ثانويين.

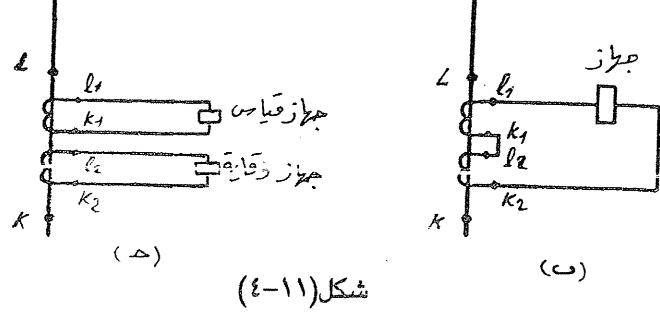

عدد ٢ ملف ثانوى
أرضى
أطراف الملفات الثانوية
l_1
K_1
l_2
K_2
(ب)
الملف الثانوى
l_1
K_1
(أ)
l_1
K_1
l_2
K_2
l_4
K_4
l_3
K_3
(د)
l_1
K_1
l_2
K_2
l_3
K_3
(جـ)
روزته
400
(هـ)

شكل(٩-٤)



شكل(٤-١٠)





شكل(٤-١١)

٤-٤ أنواع محولات التيارات (Types of Current Transformers)

يوجد ثلاثة أنواع من محولات التيار

١- محول تيار من نوع الشباك (حلقى): Window - Type C.T
Or Through - Type C.T Or Ring - Type C .T

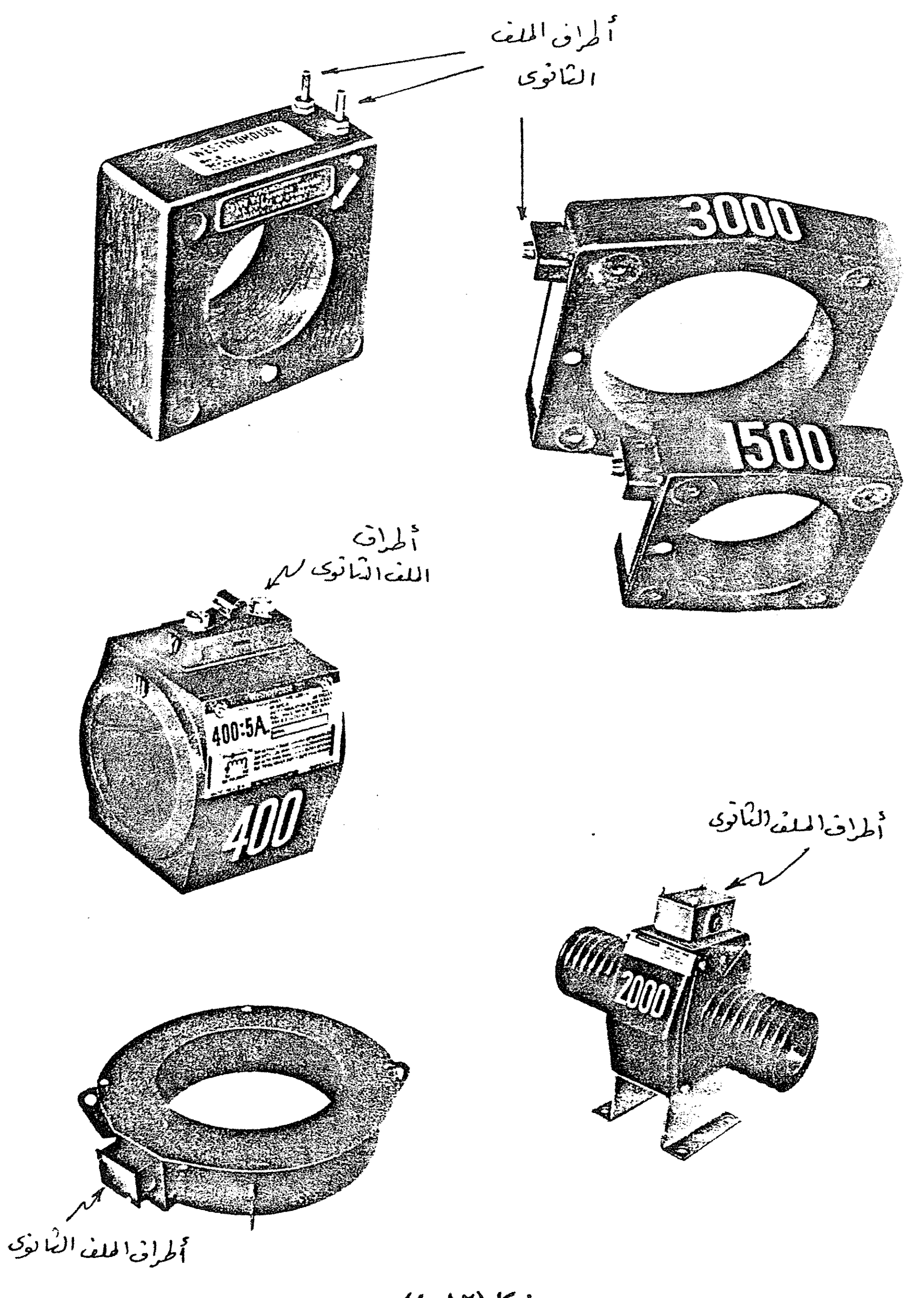
يتكون محول التيار من نوع الشباك من قلب على شكل حلقة اسطوانية مصنوعة من شرائح الحديد، يتم لف الملف الثانوى على القلب - بينما يعتبر الكابل أو الخط، المار خلال الفتحة الحلقية لمحول التيار، هوالملف الابتدائى. شكل (١١ -٤)أ يوضح محولى تيار من النوع الحلقى يمران خلال كابل (L,K) بينما فى شكل (١١ -٤) ب تم توصيل الملفين الثانويين لمحولى التيار على التوالى وتوصيلهما على جهاز حماية أو قياس فى شكل (١١ -٤)حـ تم توصيل كل ملف ثانوى على جهاز مستقل (حماية أو قياس). شكل (١٢ -٤) يوضح بعض محولات التيار من نوع الشباك انتاج شركة وستنجهاوس ذات نسب تحويل مختلفة ..... 5/ 2000 /5, 1500 /5, 400 /5

كذلك تستخدم محولات التيار من نوع الشباك للتركيب على عازل اختراق لقاطع التيار. شكل (١٣ -٤) يوضح عازل أختراق لقاطع تيار من النوع الزتيى - تم تركيب محول تيار من نوع الشباك عليه.

٢- محول التيار من النوع ذى القضيب Bar - Type C . T

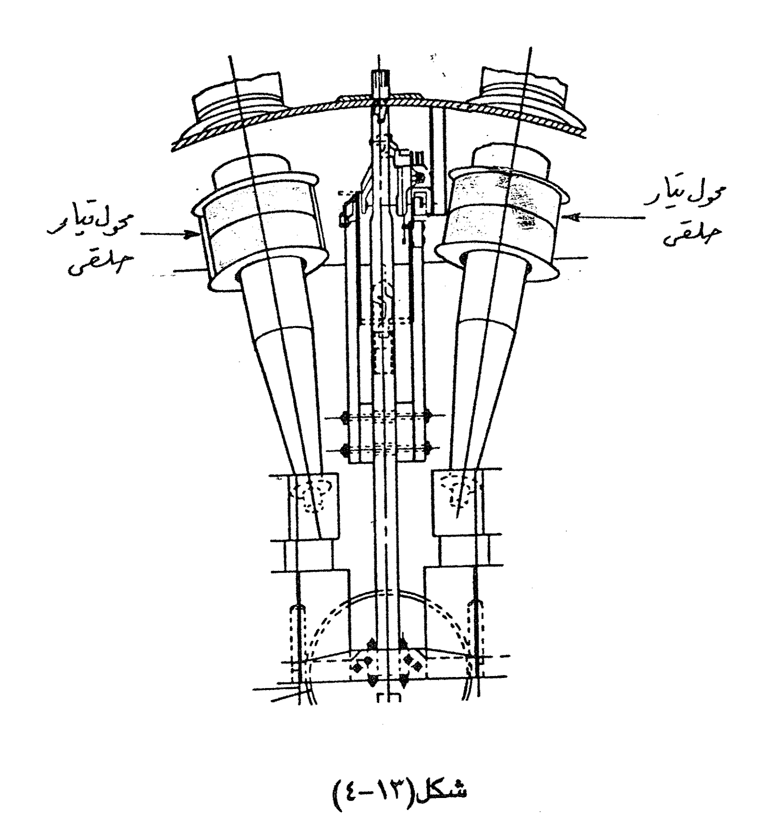
يحتوى هذا النوع على قضيب مصمت (Solid Bar) هو الملف الابتدائى لمحول التيار، ويتم توصيلة على التوالى مع الخط أو الكابل المراد تركيب محول التيار عليه، يتحمل هذا النوع الاجهادات الناتجة عن التيارات المرتفعة. يجب الاعتناء عند عمل تربيطات نهايات الملف الابتدائى (القضيب) مع الخط أو الكابل، حتى لا يحدث اجهادات عند نقط الرباطات يمكن أن تتسبب فى انهيار محول التيار.

شكل (١٤ -٤) يوضح بعض أنواع من محولات التيار انتاج شركة سيمنز / المانيا ذات نسب مختلفـــة 5/ 2000 /5, 600 /5, 100 , 5/ 75 /5, 50 للتركيب علـــى

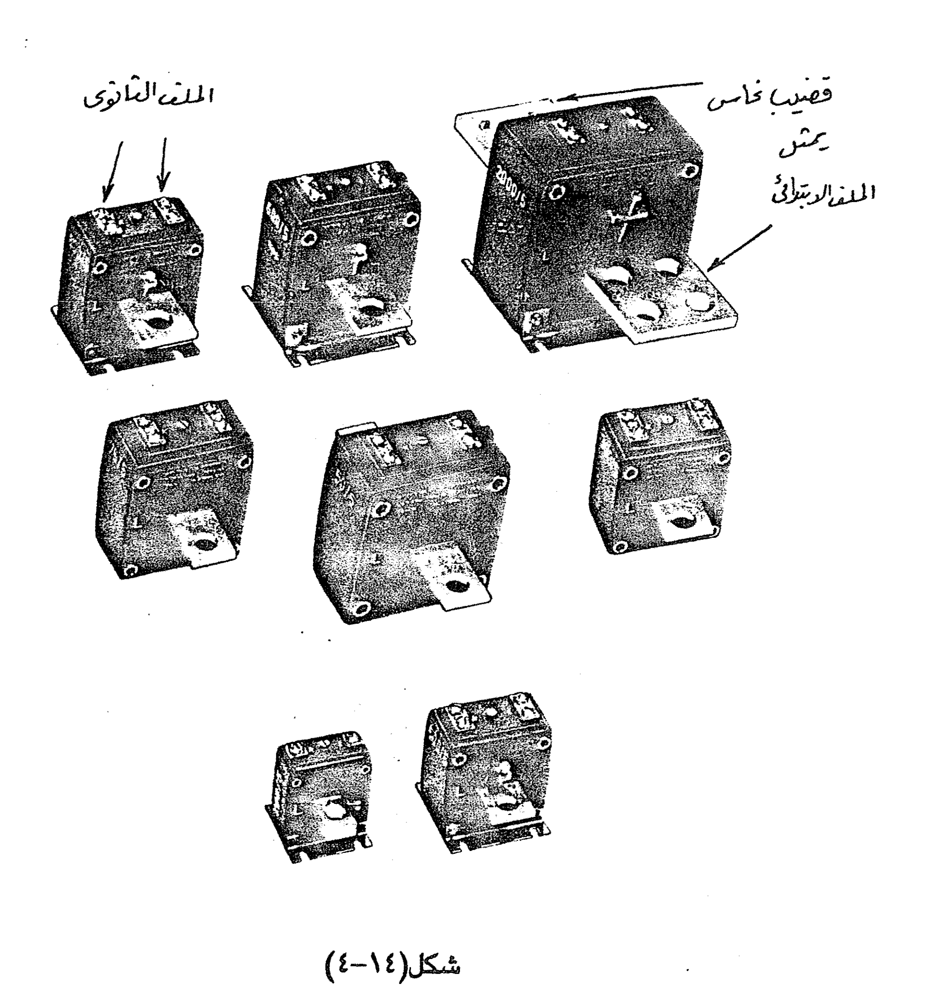


أطراف الملف الثانوى
WESTINGHOUSE
3000
1500
أطراف الملف الثانوى
400:5A.
400
أطراف الملف الثانوى
2000
أطراف الملف الثانوى

شكل(١٢-٤)



شكل(١٣-٤)



شكل(١٤-٤)

الجهد المنخفض ٥٠٠ ڤولت- الجسم الخارجي لمحول التيار من البلاستيك المصبوب أو من مادة الراتنجات وتعرف بالمادة العازلة الجافة (Dry - Type Insulation)

شكل (١٥ -٤) يوضح بعض أنواع محولات التيار انتاج شركة سمينز / المانيا ذات نسب مختلفة 5/ 1500 ,5 / 600 , 5/ 2500 ,5/ 1200 للتركيب على الجهود من ٦ ك.ف الى ٤٥ ك .ف. الجسم الخارجي لمحول التيار من مادة الراتنجات العازلة.

شكل (١٦ -٤) يوضح بعض انواع محولات التيار انتاج شركة وستنجهاوس / أمريكا. ذات نسب مختلفة 5/ 400 ,5/ 100 ,5/ 4000

شكل (١٧ -٤) يوضح محولات تيار أنتاج روسيا.

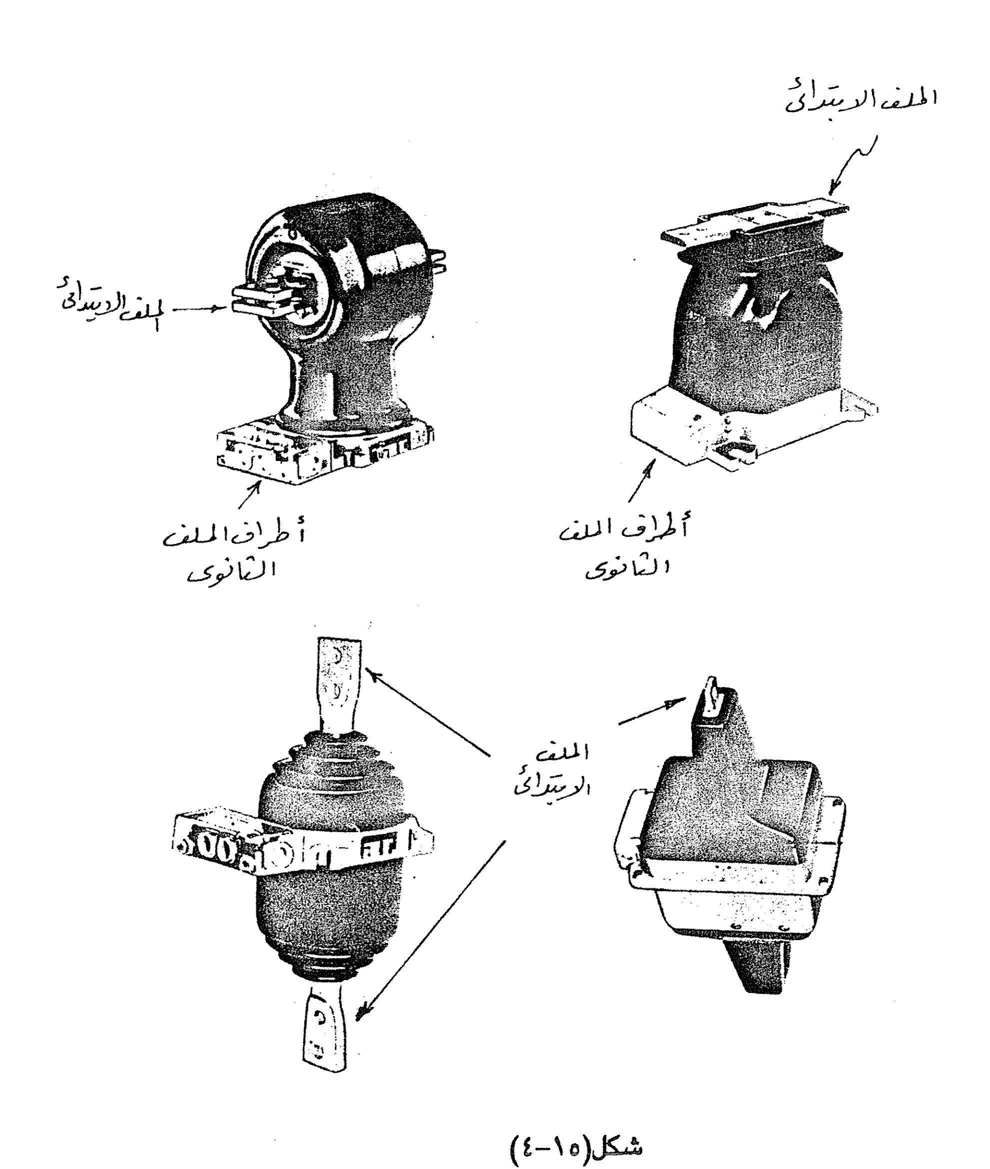
٣- محول التيار من النوع الملفوف Wound - Type C.T

يتكون من قلب من شرائح الحديد، و ملف ابتدائى، وملف ثانوى، منفصلين، وغالبا يكون الملف الابتدائى عبارة عن لفة أو أكثر من موصل ذى مقطع كبير، ويتصل على التوالى مع الدائرة المراد تركيب محول التيار عليها. كما فى شكل (١٨ -٤).

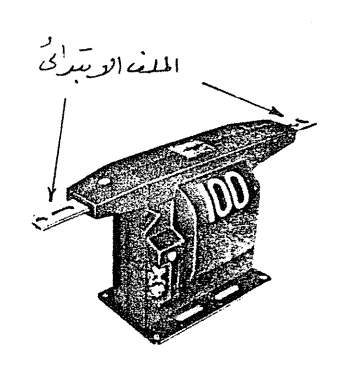
هذا النوع، أحيانا، يحتوى على نسبة تحويل ثنائية (Dual Ratio)، أى يحتوى المحول على ملفين ابتدائيين يتم توصيلهما على التوالى، أو على التوازى، على حسب نسبة التحويل. شكل (١٩-٤) يوضح محول تيار يحتوى على ملفين ابتدائيين وملف ثانوى ونسبة التحويل (5/ 200 - 100) أى يمكن الحصول على نسبة تحويل 5/ 100 اذا تم توصيل الملفين الابتدائيين على التوالى كما فى شكل (١٩ -٤) أ، أو الحصول علـــى نسبة تحويل 5/ 200 إذا تم توصيل الملفين الابتدائيين على التوازى كمـــا فى شكل(١٩ -٤)ب.

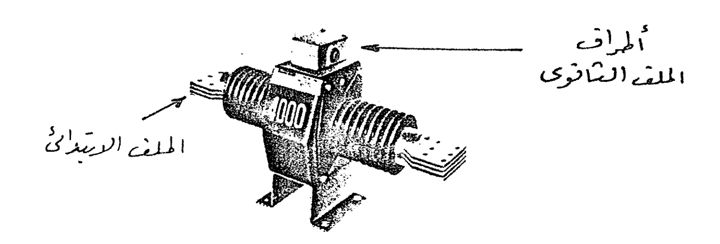
فيما يلى أمثلة لبعض محولات التيار:

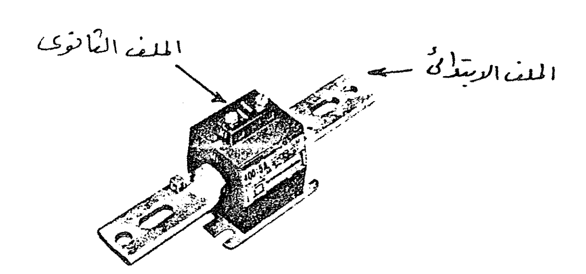
أ- شكل (٢٠ -٤) يوضح محول تيار من النوع القاعدى للتركيب خارج مبنى (Outdoor Pedestal - Type C.T) يمكن الحصول منه على نسب تحويل تيار مختلفة، فحين يكتب على لوحة البيان (5/ 100 Primary Selection 1:2 (2 x يعنى ذلك أنه يمكن الحصول منه على نسبة تحويل 5/ 100 أو 5/ 200، أو يكتب على لوحة البيان (5/ 400 Primary Selection 1:2:4 (4 x 100 يعنى ذلك أنه يمكن الحصـــول


الملف الابتدائى
الملف الابتدائى
أطراف الملف الثانوى
أطراف الملف الثانوى
الملف الابتدائى

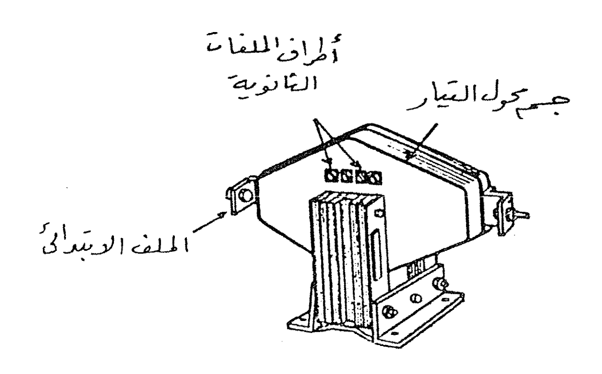
شكل(١٥-٤)

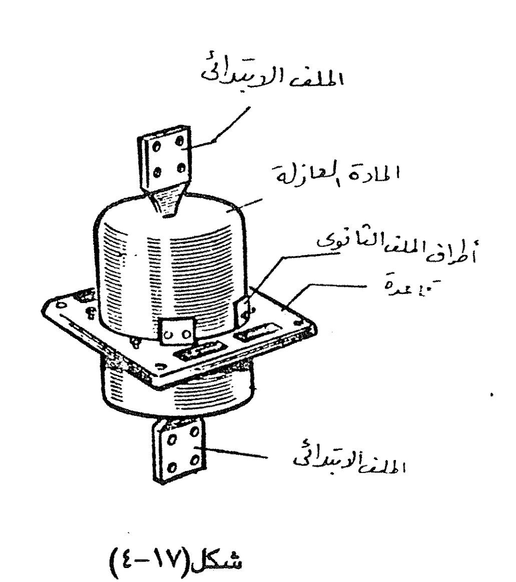

الملف الابتدائى
100


أطراف
الملف الثانوى
الملف الابتدائى
1000

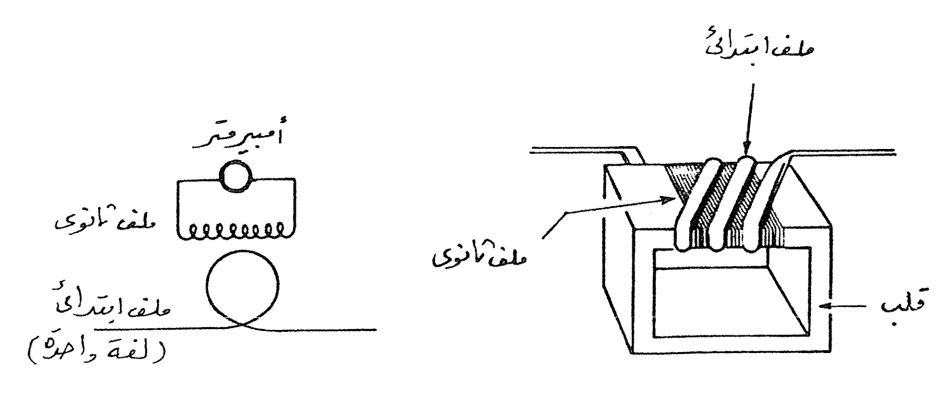

الملف الثانوى
الملف الابتدائى

شكل(١٦-٤)

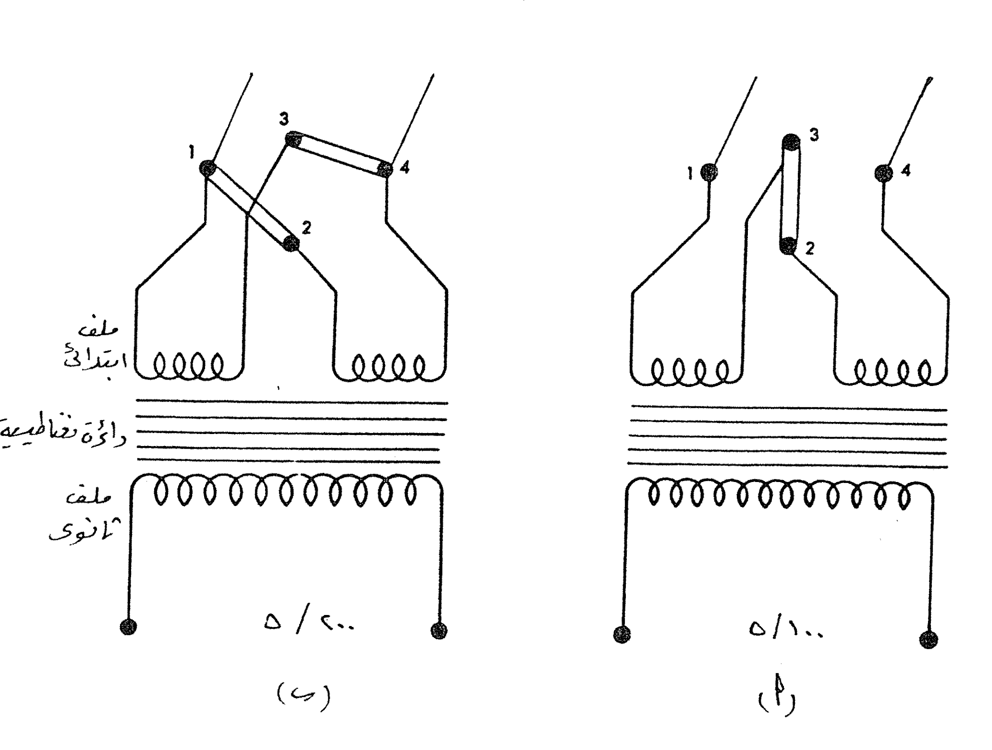

أطراف الملفات
الثانوية
جسم محول التيار
الملف الابتدائي


الملف الابتدائي
المادة العازلة
أطراف الملف الثانوي
قاعدة
الملف الابتدائي

شكل(١٧-٤)



شكل(١٨-٤)



شكل(١٩-٤)

منه على نسب التحويل 100/5 أو 200/5 أو 400/5 يمكن تغيير نسبة التحويل عن طريق قناطر (Bridges) موجودة فى الجزء العلوى، بعد رفع الغطاء.

يركب هذا النوع خارج المبنى ويستعمل مع الجهود من ٦٠ – ٧٢,٥ ك.ف. ولذلك فان المادة العازلة المستخدمة عبارة عن:

- راتنجات مصبوبة (Cast Resin) يغمس فيها الملفات والقلب.
- بورسلين (Porcelain) يستخدم كعازل خارجي يغطى الراتنجات المصبوبة.
- مادة بلاستيكية رغوية (Plastic Foam) تملأ الفراغ بين الراتنجات والبورسلين.

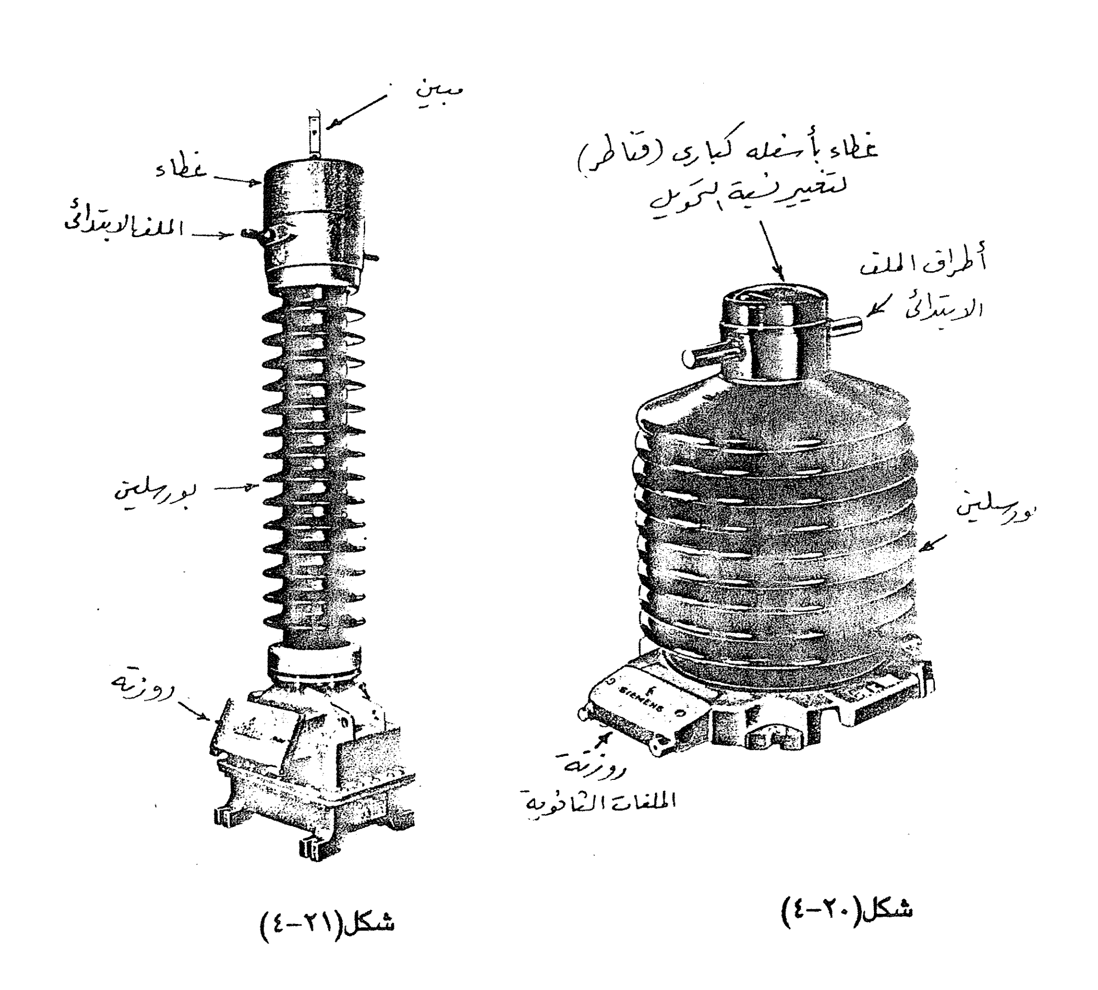
ب- شكل (٢١ -٤) يوضح محول تيار من النوع على شكل وعاء، يتم تركيبه خارج المبنى (Outdoor Pot - Type C .T) يمكن الحصول منه على نسب تحويل تيار مختلفة (4 x 200 /5) ويستعمل مع الجهود من ٨٨ – ١٤٥ ك .ف المحول عبارة عن وعاء يحتوى على الملفات والقلب ومملوء بزيت عزل تحت ضغط (Insulating Oil Under Vacuum) ومحكم الغلق (Hermetical Sealed) العزل الخارجى عبارة عن بورسلين – يحتوى المحول على مبين لمستوى الزيت.

جـ- شكل (٢٢-٤) يوضح محول تيار من النوع ذى الرأس – يتم تركيبه خارج المبنى (Outdoor Head - Type C .T) يمكن الحصول منه على نسب تحويل تيار مختلفة (2 x 1200 /5) ويستخدم للجهود من ١٥٠ – ١٧٠ ك .ف المادة العازلة عبارة عن زيت.

د- شكل (٢٣ -٤) يوضح محول تيار من النوع الذى يكون على شكل وعاء – يتم تركيبه خارج المبنى (Outdoor Pot - Type C .T) – نسب التحويل (4 x 200 /5). ويستعمل مع الجهود من ٢٢٠ ك .ف – ٢٤٥ ك .ف، ولذلك يلاحظ أن العزل أصبح أقوى من الحالات السابقة، المادة العازلة عبارة عن زيت.

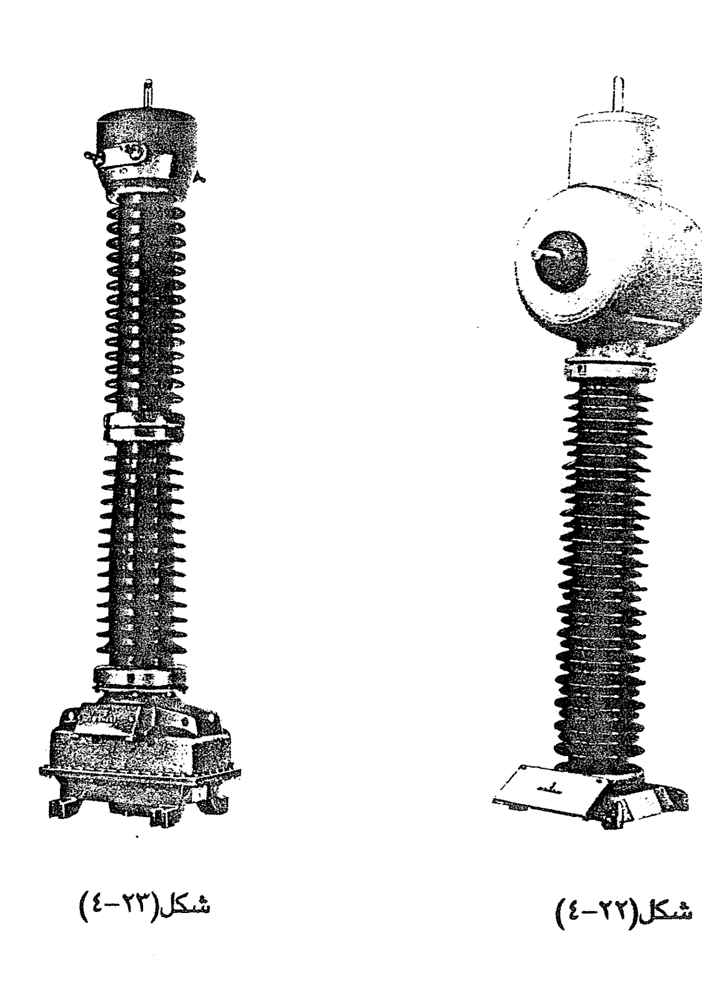
هـ- شكل (٢٤ -٤) يوضح محول تيار من النوع ذى الرأس – يتم تركيبه خارج المبنى (Outdoor Head - Type C.T) – نسبة التحويل (2 x 1200/5) ويستعمل مع الجهود من ٢٢٠ ك .ف وحتى ٢٤٥ ك .ف، ويلاحظ فيه زيادة العزل.

و- شكل (٢٥-٤) يوضح محول تيار من النوع ذي الرأس – يتم تركيبه خارج المبنى نسبة التحويل (600 : 1200 : 2400 /5) – ويستعمل مع الجهود من ٢٢٠ ك .ف وحتى ٢٤٥ ك .ف.



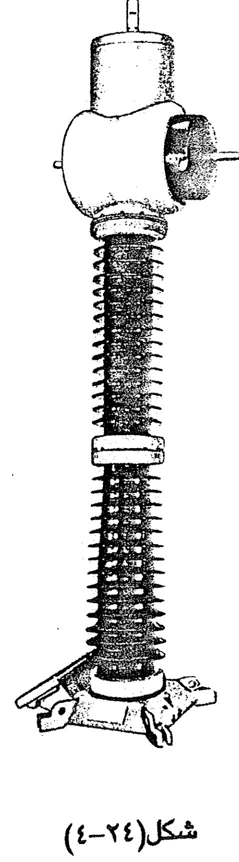
شكل(٤-٢٠)

شكل(٤-٢١)

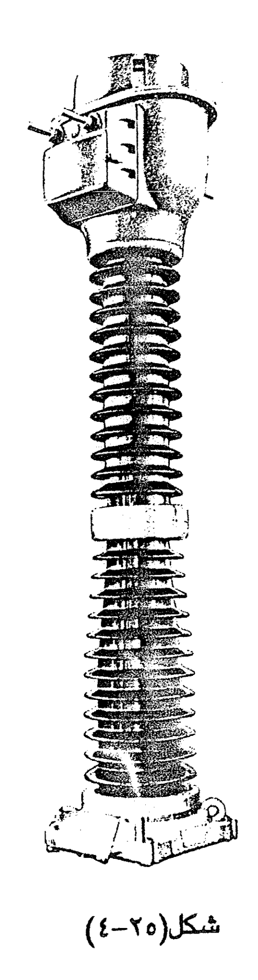


شكل(٢٢-٤)

شكل(٢٣-٤)



شكل(٢٤-٤)



شكل(٢٥-٤)

س- شكل (٢٦ - ٤) يوضح محول تيار للتركيب داخل المبنى (Indoor C.T) نسبة التحويل (4 x 300 /5) - ويستعمل مع الجهود من ١١٠ - ١٢٣ ك .ف والمادة العازلة عبارة عن راتنجات مصبوبة (Cast Resin).

شكل (٢٧ -٤) يوضح مقطع فى محول تيار من النوع على شكل وعاء، مملوء بمادة عازلة عبارة عن زيت، يشبه الملف الثانوى محول التيار من نوع الحلقى.

٤-٥ تغيير نسبة التحويل Changing The Ratio

يتم الحصول على نسب تحويل مختلفة من محول التيار، عن طريق تغيير عدد لفات الملف الابتدائى - أو عدد لفات الملف الثانوى - أو الاثنين معا .

تغيير عدد لفات الملف الابتدائى:

يمكن تغيير عدد لفات الملف الابتدائى لمحولات التيار من النوع الملفوف (Wound. Type C.T) فقط، وذلك لاحتواء الملف الابتدائى على أكثر من لفة. وغالبا يكون الملف الابتدائى مقسما الى إجزاء متماثلة، يمكن أن تتصل هذه الأجزاء على التوالى أو على التوازى، و تغيير نسبة التحويل تبعا للنسبة ١ : ٢ أو ١ : ٢ :٤ معتمدا على عدد الأجزاء.

تغيير عدد لفات الملف الثانوى:

يتم عمل نقط تقسيم على ملفات الملف الثانوى، وعلى ذلك يمكن الحصول على نسب تحويل مختلفة.

تغيير كلا من عدد لفات الملف الابتدائى والثانوى:

بجمع الحالتين السابقتين يمكن الحصول على نسب تحويل مختلفة كثيرة

٤-٦ الملامح الرئيسية لمحول التيار المستخدم لدوائر القياس:

١- حدود التيار من ٥٪ إلى ١٢٠٪ من قيمة التيار المقنن
٢- ذو درجة دقة عالية.
٣- قدرة مخرج المحول صغيرة (V A)
٤- جهد التشبع صغير (Low Saturation Voltage)

الملامح الرئيسية لمحول التيار المستخدم لدوائر الوقاية:

١- حدود التيار عند قيم أكبر من التيار المقنن.

٢- ذو درجة دقة منخفضة (مسموح بخطأ نسبة تحويل أكبر من النسبة المسموح بها في دوائر القياس).

٣- قدرة مخرج المحول أعلى من تلك التي تستخدم في دوائر القياس.

٤- جهد التشبع عالي (High Sauration Voltage).

٤-٧ أختيار محولات التيار

يجب مراعاة الآتي عند اختيار محولات التيار:

١- درجة الدقة Accuracy Cl ass

يجب اختيار درجة الدقة بحيث تناسب الأجهزة التي سيتم توصيلها عليها. على سبيل المثال، بالنسبة لمحول ذي درجة دقة 0.5 يكون القلب مصنوعا من سبيكة من الحديد والنيكل، بينما لمحول ذي درجة دقة 3 يكون القلب أقل كفاءة، ولذلك يختلف السعر في الحالتين.

توصيات استخدام درجة الدقة تكون تبعا لجدول رقم (٣ -٤)

جدول (٣ -٤)

درجة الدقة	الاستخـــــــــدام
0.5	مع أجهزة القياس الدقيقة التي تقوم بعمليات حسابية
1 or 3	للقياسات الصناعية - أجهزة القياس
10 P	أجهزة الوقاية

٢- حمل المحول Burden

للحفاظ على محول التيار يجب أن يتم توصيل أجهزة القياس والوقاية على الملف الثانوى، بحيث لا يتعدى مجموع مقاومات الأجهزة، المتصلة على التوالى، قيمة ما يتحمله المحول، وبالتالى لا يحدث أى أرتفاع فى قيمة معامل زيادة الحمل.

٣- معامل زيادة الحمل المقنن Rated Over load Factor

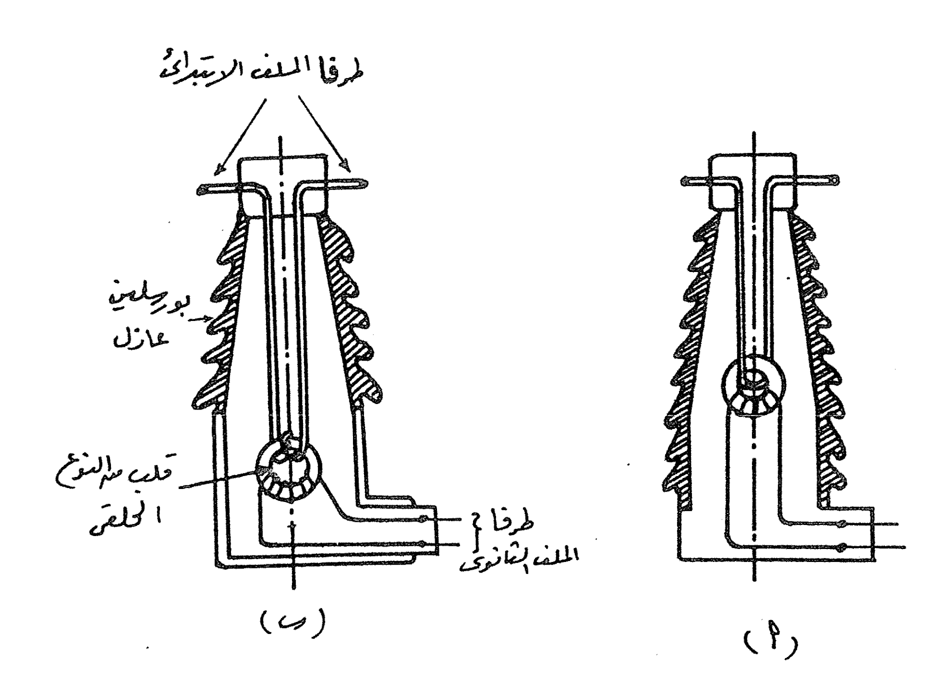
يجب حماية الأجهزة ضد الزيادة فى ارتفاع التيار. وعلى ذلك يختار معامل زيادة الحمل بحيث لا تزيد n عن عشرة - فى حالة أجهزة القياس تكون n أصغر من خمسة، وفى حالة أجهزة الوقاية تكون n أكبر من خمسة. وذلك فيما عدا بعض الاستثناءات مثل:

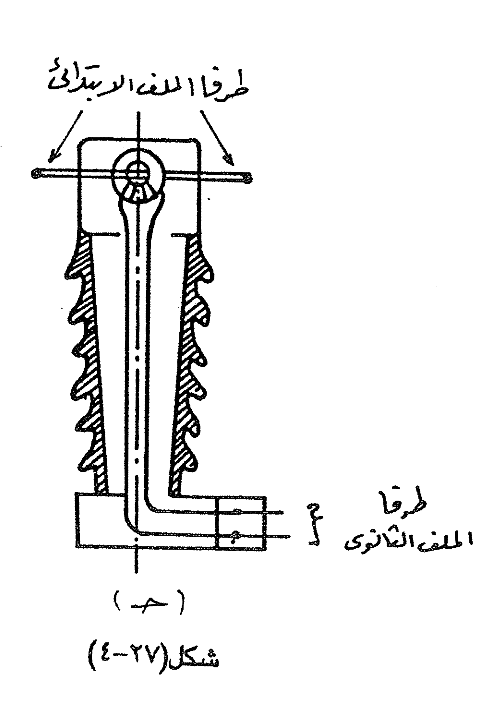
- الحماية ضد زيادة الحمل للمحركات غير المتزامنة ذات الجهود العالية، نتيجة تيار البدء، ويجب أن يهمل خطأ نسبة التحويل حتى ثمانية أمثال التيار المقنن تقريبا.
- فى حالتى الوقاية التفاضلية، والوقاية عن بعد، يمكن أن تكون n أكبر من عشرة.

٨ -٤ الفيض المتبقى Residual Flux

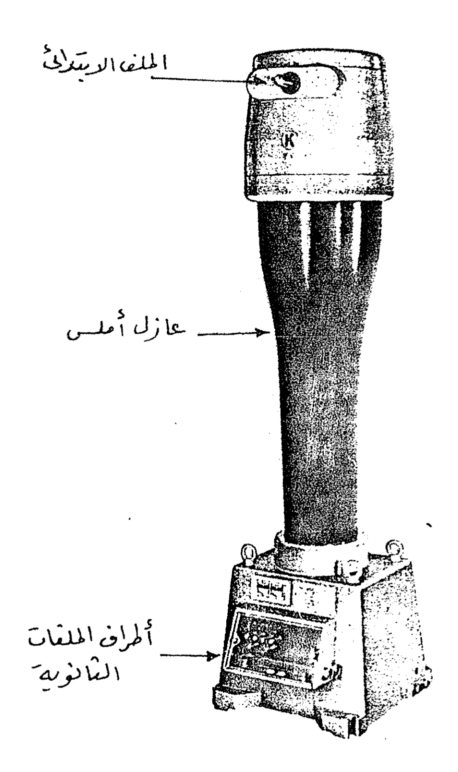
بالنسبة لمعدة كهربائية تحتوى على قلب حديدى وملف، فانه عند وصول تيار الأثارة، المار بالملف، الى قيمة تساوى الصفر، يحتفظ القلب بمستوى فيض يعرف بالفيض المتبقى. عند مرور تيار بالملف الثانوى لمحول التيار، فان الفيض المتبقى يمكن أن يساعد أو يقلل من أداء الفيض العابر (Transient)، معتمدا على الاتجاه النسبى للفيض المتبقى.

شكل (٢٨ -٤) يوضح مستوى الفيض المتبقى لمحول تيار، قبل توصيل تيار اليه. نفرض أن محول التيار يمتلك فيضا متبقيا بالنقطة (a)، نفرض أنه تم البدء فى تمرير تيار متماثل ذو موجة جيبية بالملف الابتدائى. حينئذ سيتغيرالفيض من النقطة (a) الى النقطة (A). وتكون القيمة المتوسطة لمركبة التيار المستمر فى تيار الاثارة هى I_a، وهذا التيار يمر بالملف الثانوى وليس له مقابل بالملف الابتدائى، فيحدث له انحدار على أساس ثابت الزمن للدائرة الثانوية، عند استكمال التيار العابر (Transient)، فان الفيض يصبح cC، وله قيمة مساوية لقيمته فى الحالة الأولى aA.

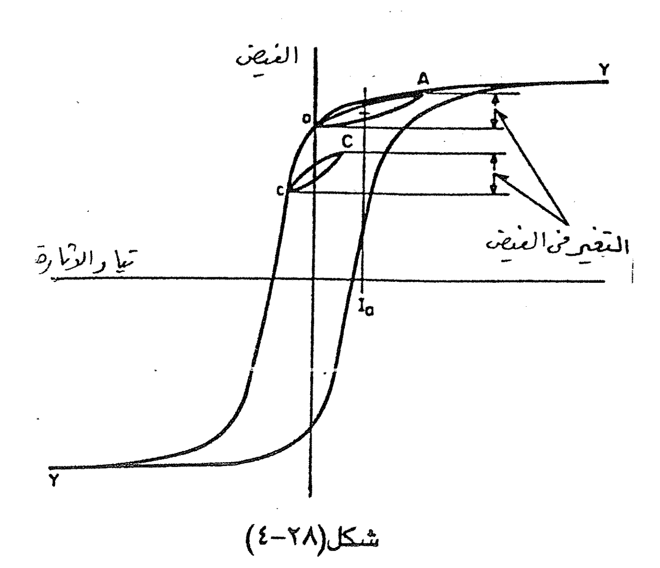

طرفا الملف الابتدائى
بورسلين عازل
قلب من النوع الحلقى
طرفا الملف الثانوى
(ب)
(أ)


طرفا الملف الابتدائى
طرفا الملف الثانوى
(جـ)

شكل(٢٧-٤)



شكل(٢٦-٤)



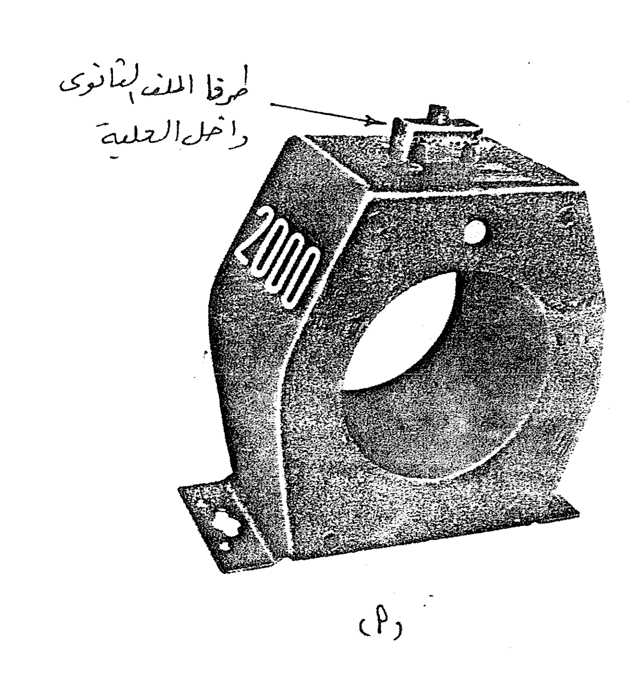
شكل(٢٨-٤)

اذا حدث فصل لقاطع التيار، لخط مركب عليه محول تيار، فان الفيض المتبقى، سيكون الفيض الموجود لحظة الفصل، وهو مختلف عن القيمة الأولية المفروضة للفيض. وفى الحقيقة أن أية قيمة للفيض بين الصفر وقيمة مستوى التشبع تظل فى القلب، معتمدة على الحالة السابقة مباشرة لفصل القاطع.

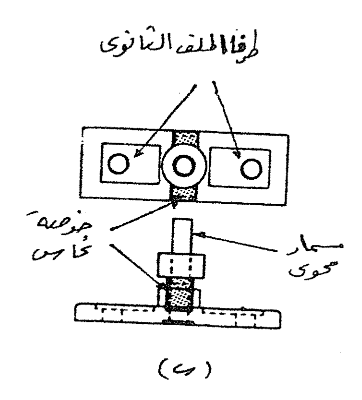
للتخلص من الفيض المتبقى بالقلب يلزم أن يكون جهد الملف الثانوى مرتفع بما يكفى لاحداث تشبع بالقلب، مما يتبعه أنخفاض تدريجى للجهد حتى يتلاشى.

يمتاز محول التيار ذو القلب الحديدى الذى يحتوى على ثغرة هوائية أن الفيض المتبقى يكون صغيرا جداً، وهو حوالى ١٠٪ من كثافة التشبع، بينما يكون الفيض المتبقى لمحولات التيار التى بدون ثغرة هوائية حوالى ٩٠٪ من كثافة التشبع. عند تسليط قيمة معينة من التيار على محولى تيار، لهما نفس قدرة المخرج، أحدهما ذو ثغرة هوائية والأخر بدون ثغرة هوائية، نجد أن محول التيار المحتوى على ثغرة هوائية لا يتشبع بنفس سرعة تشبع المحول الآخر، وعند فصل القاطع فان الفيض المتبقى يقل ببطء جداً (يستغرق عدة ثوانِ)، وكذلك يقل التيار بالملف الثانوى ببطء أيضاً، ويكون محول التيار المحتوى على ثغرة هوائية غالى الثمن، لاحتياجة الى دقة متناهية فى التصنيع.

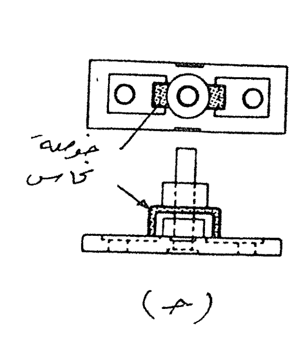
يعتمد التيار المار بالملف الثانوى علـــى قيمة التيار المـــار بالملف الابتدائى، ولايعتمد على قيمة مقاومات ملفات الأجهزة الموصلة على الملف الثانوى. وعلى ذلك، اذا فرض أن دائرة الملف الثانوى مفتوحة، فان التيار المار بالملف الابتدائـــى يعتبر تيـار مغنطـــة (Magnetizing Current). وحيث أن الدائرة المغناطيسية مصممة بحيث يمر تيار مغنطة صغير جداً، فانه عند مرور تيار بالمحول، فى حالات التشغيل العادية، يتسبب تيار المغنطة الكبير فى حدوث فيض كبير جدا فى القلب، ويصبح محول التيار كمحول رفع (Step up Transformer) مما يؤدى إلى أنتاج جهد مرتفع جدا بين طرفى الملف الثانوى. ومن هنا تظهر أهمية أن يكون الملف الثانوى لمحـــول التيار مقصـــــورا (Short Circuited)، عنـــدما لا يكون موصلا على أجهزة ولذلك تنص المواصفات القياسية على أن تحتوى الدوائر الثانوية لمحولات التيار على وسيلة آلية أو يدوية لعمل دائرة قصر على أطراف الملف الثانوى فى مثل هذه الحالة.


طرفا الملف الثانوى
داخل الحلية
2000

(أ)


طرفا الملف الثانوى
جوصة
نحاس
مسمار
محوى

(ب)


جوصة
نحاس

(ﺣ)

شكل(٢٩-٤)

شكل (٢٩ -٤) يوضح محول تيار من النوع الحلقى - ٢٠٠٠ /٥ أمبير - ٦٠٠ فولت - أنتاج وستنجهاوس. وهو مجهز بوسيلة يدوية لعمل دائرة قصر للملف الثانوى، عبارة عن خوصة نحاس مثبتة أسفل مسمار محوى (قلاووظ). شكل (٢٩ -٤) ب يوضح الوضع المفتوح، وفيه لا يوجد أى أتصال بين طرفى الملف الثانوى والخوصة النحاس.

بينما شكل (٢٩ - ٤) حـ يوضح وضع دائرة القصر، فيه تكون الخوصة واصلة بين طرفى الملف الثانوى.

تشبع التيار المستمر Direct Current Saturation

كل ماذكر سابقا، ينصب على حالات الاستقرار (Steady state) لمحولات التيار. نناقش فيما يلى تأثير مركبة التيار المستمر (d.c)، لكى نرى كيف أنها أخطر تأثيراً من مركبة التيار المتردد (a.c Fault Current) على تشبع محول التيار.(مركبة التيار المستمر تجعل الفيضْ متبقيا (Permanent).تزيد قيمة مركبة التيار المستمر نتيجة:

- عدم تغيير التيار المار فى محاثة (Inductance) لحظياً.
- تقدم أو تأخر تيار حالة الاستقرار (Steady state Current)، قبل وبعد التغيير، عن الجهد، بالزاوية المناظرة لمعامل القدرة.

شكل (٣٠ -٤) يوضح التيار المار، فى اللحظة التى تلى بداية القصر مباشرة، فى حالتين:

- حالة التغيير التام (Fully Offset)، وهى الحالة التى يكون فيها القصر قد حدث فى لحظة وجود أقصى قيمة لمركبة التيار المستمر (d.c).
- حالة عدم التغير (No Offset)، وهى الحالة التى يكون فيها القصر قد حدث لحظة عدم وجود مركبة للتيار المستمر (d.c).

بينما نجد أن شكل (٣١ -٤) يوضح مثالا للتيار الثانوى المار بمحول تيار حدث له تشبع نتيجة مركبة التيار المستمر (d.c).

اذا تحققت المعادلة التالية

$$V_k \geq 6.28 \, I \, RT$$

$$T = \frac{L_p}{R_p} \quad F$$

حيث

فلن يصل محول التيار إلى حالة التشبع بتأثيرمركبة التيار المستمر

حيث:

V_k = الجهد عند نقطة التشبع (يمكن الحصول عليه من منحنى العلاقة بين تيار الاثارة وجهد الاثارة لاحظ شكل (٧ -٤) - ڤولت.

R = المقاومة الثانوية الكلية.

T = ثابت الزمن (d.c) لدائرة الملف الابتدائى.

L_p = معامل حث دائرة الملف الابتدائى (Inductance)

R_p = مقاومة دائرة الملف الابتدائى (Resistance)

F = التردد (هرتز)

I = التيار الثانوى (rms).أمبير

يتأثر نظام الوقاية التفاضلية للقضبان بتشبع محول التيار (أو أكثر من محول تيار)، نتيجة وجود مركبة التيار المستمر، الناتجة من حدوث قصر خارجي، مسببة بذلك عدم تماثل التيار فى الملفات الثانوية لمحولات التيار. وبالتالى فانها تؤدى إلى مرور تيار فى ملف تشغيل الجهاز (Operating Coil) ويكون تشبع محول التيار شديدا، اذا كان ثابت الزمن (d.c)،لدائرة الملف الابتدائى، كبير، ويقابله مركبة تيار مستمر d.c كبيرة.

لحساب الزمن اللازم للوصول بمحول التيار إلى كثافة فيض التشبع يتبع الآتى:

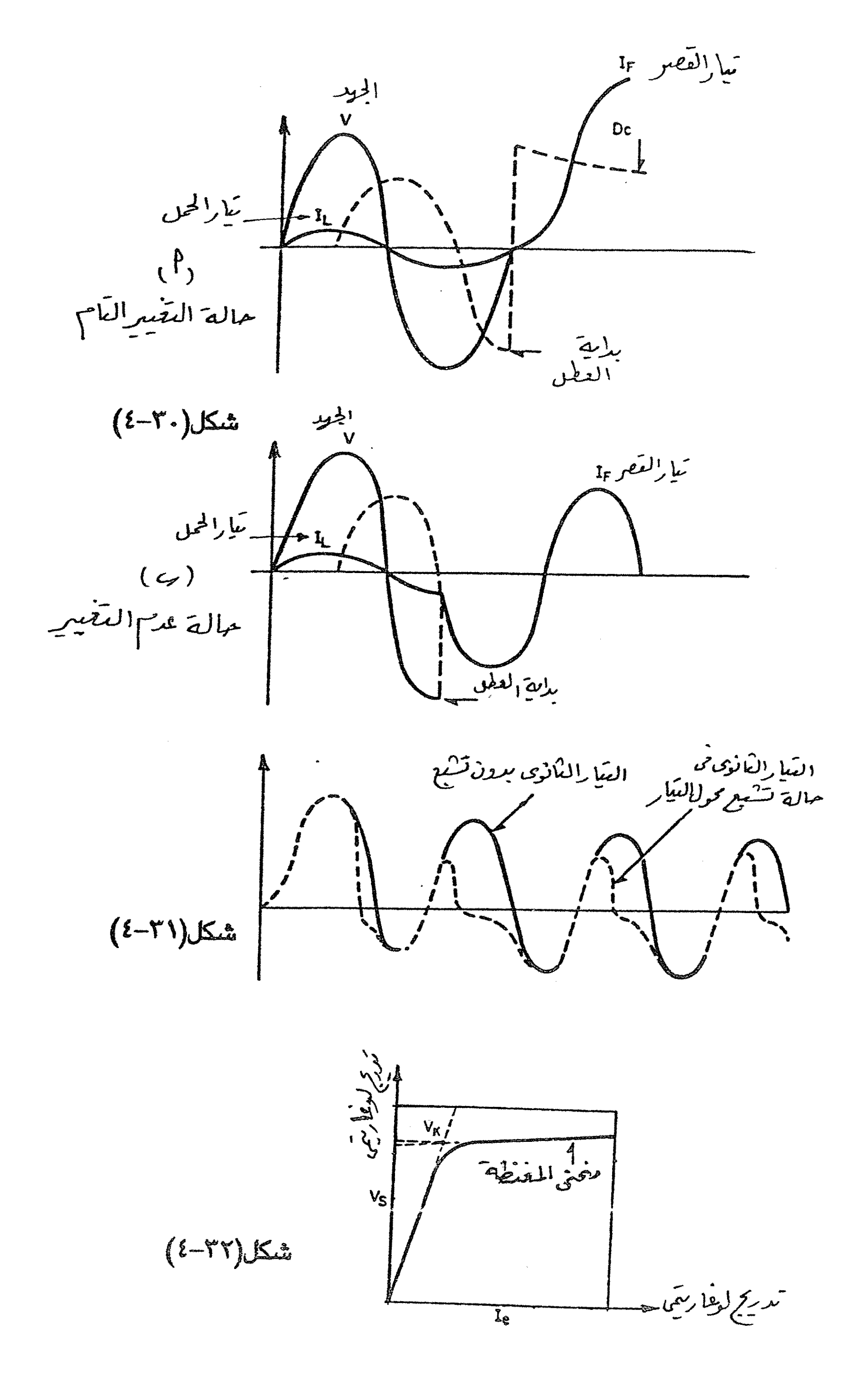
١- من منحنى الاثارة لمحول التيار (Excitation Curve)، نحصل على قيمة V_k، عن طريق تقاطع امتداد الخطين المستقيمين (كما فى شكل (٣٢ -٤) بشرط أن يكون المحوران بنفس التدريج ومقياس الرسم Scale)

٢- أحسب القيمة V_k / IRT

٣- أوجد قيمة $\frac{t}{T}$ من شكل (٣٣-٤)

٤- أحسب t، ، زمن الوصول إلى حالة التشبع.

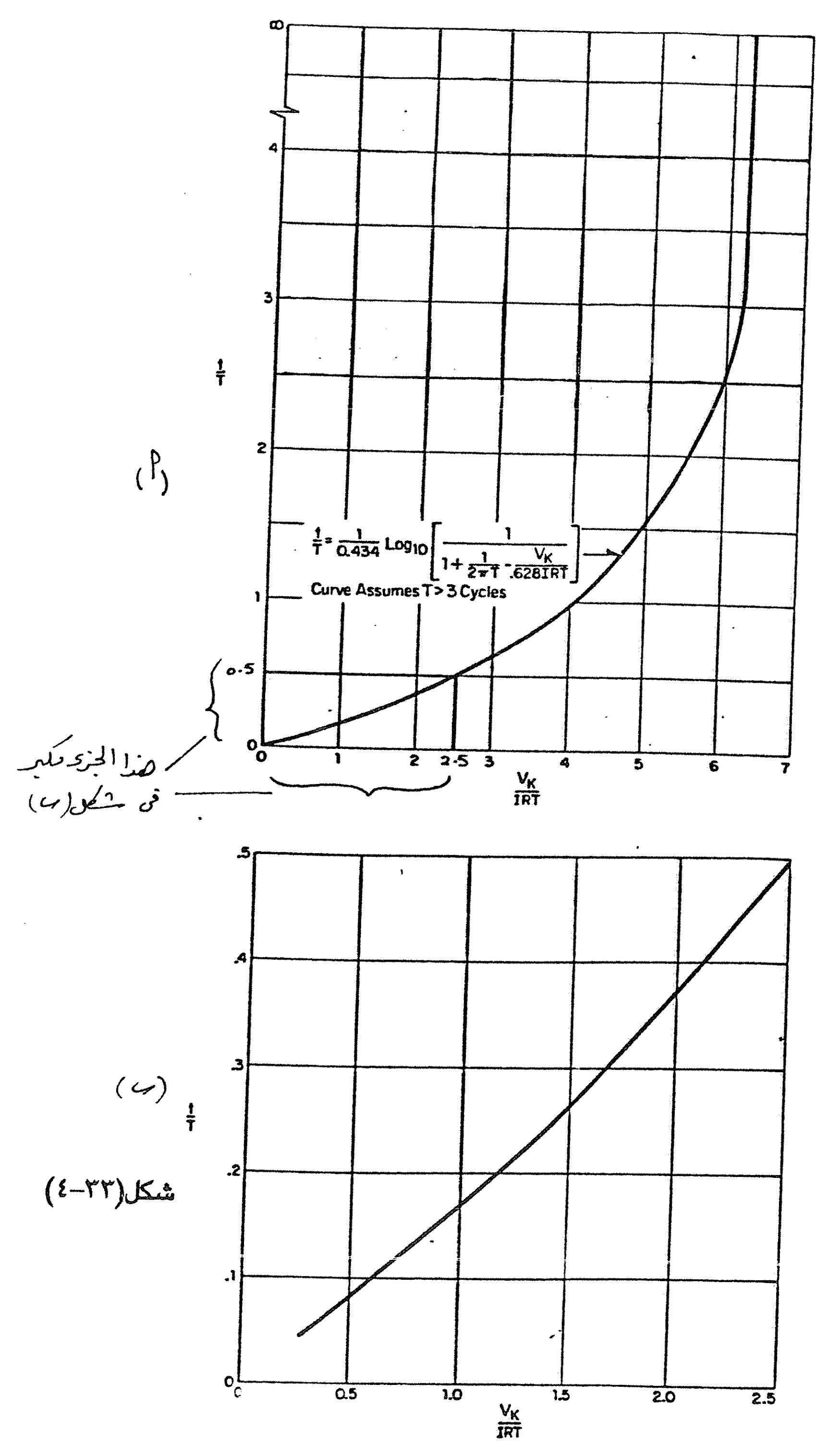
لأخذ قيمة الفيض المتبقى (Residual Flux) فى الاعتبار، يجب تصحيح قيمة V_k قبل حساب t، فمثلا اذا كان الفيض المتبقى ٩٠٪، فان قيمة V_k يجب أن تضرب فى (١ - ٠,٩) أى تضرب فى ٠,١ وفى هذه الحالة يحدث تشبع مبكر لمحول التيار.



شكل(٣٠-٤)

شكل(٣١-٤)

شكل(٣٢-٤)



$\frac{1}{T} = \frac{1}{0.434} \text{Log}_{10} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{2\pi T} - \frac{V_K}{.628 IRT}} \right]$
Curve Assumes T > 3 Cycles
$\frac{1}{T}$
$\frac{V_K}{IRT}$
(أ)
(ب)

شكل(٣٣-٤)

٩-٤ طرق توصيل محولات التيار لنظام ثلاثى الأوجه:

يتم توصيل عدد٣ محولات تيار على خط أو دائرة ثلاثية الأوجه (محول تيار على التوالى مع كل وجه) ويتم توصيل الملفات الثانوية كالآتى:

١- توصيلة نجمة (Y)، كما فى شكل (٣٤ -٤) أ ويتم توصيل جهاز وقاية أو جهاز قياس لكل وجه، ويمر تيار الوجه بكل جهاز - ويتم توصيل جهاز فى مسار نقطة التعادل(يمر بها محصلة التيارات المارة بالاوجه الثلاثة).

٢- توصيلة دلتا (d)، كما فى شكل (٣٤ -٤) ب ويتم توصيل جهاز لكل وجه ويمر تيار خطى (Line Curent) بكل جهاز.

٣- يتم توصيل الملفات الثانوية الثلاثة على التوازى، كما فى شكل (٣٤ -٤) حـ ويمر بالجهاز محصلة التيارات المارة بالاوجه الثلاثة.

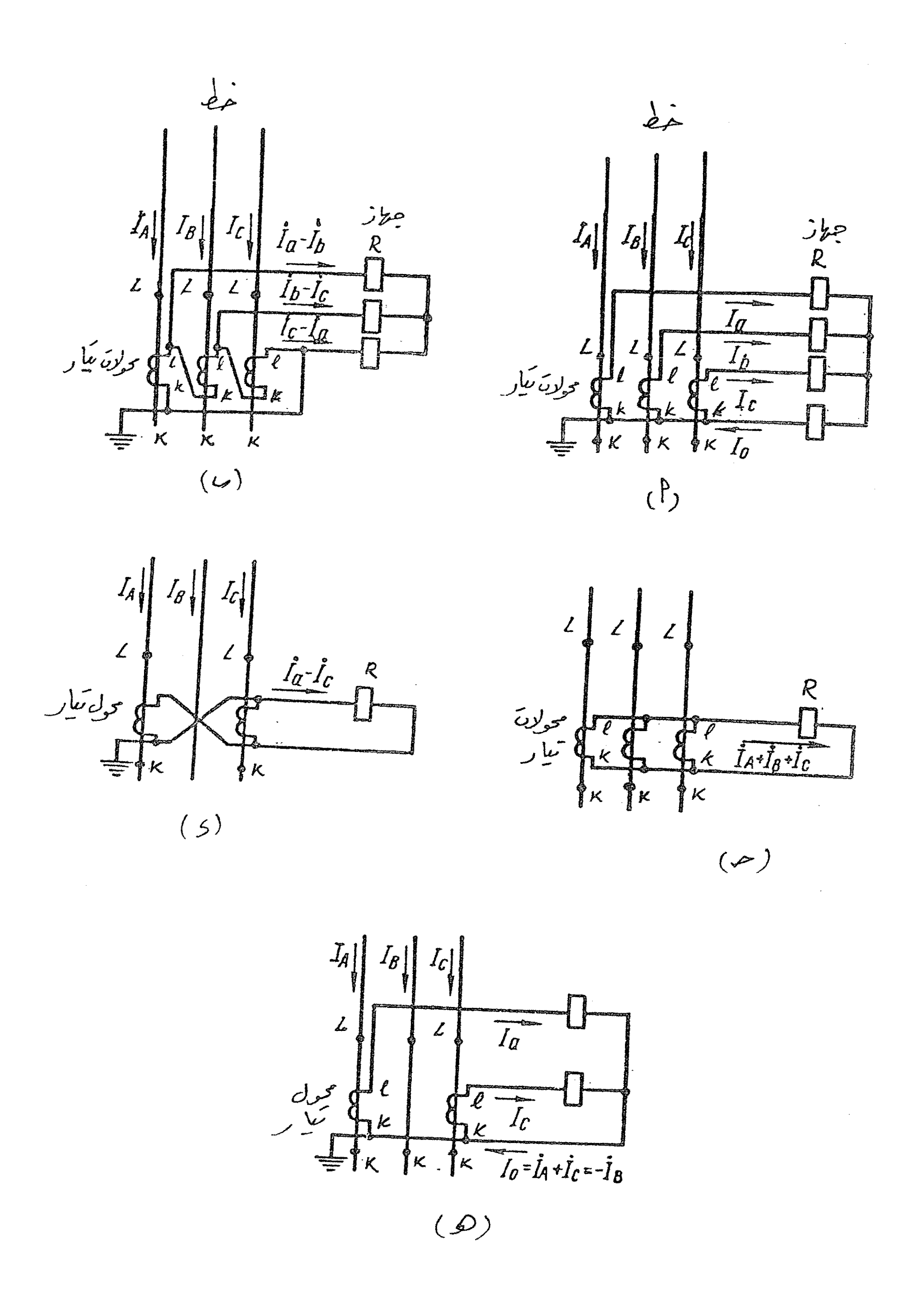
٤- يتم استخدام محولى تيار فقط - تعكس توصيلة الملفات الثانوية، بحيث يمر بالجهاز الفرق بين التيار المار بالوجهين الموصل عليهما محولا التيار - كما فى شكل (٣٤ -٤) ء.

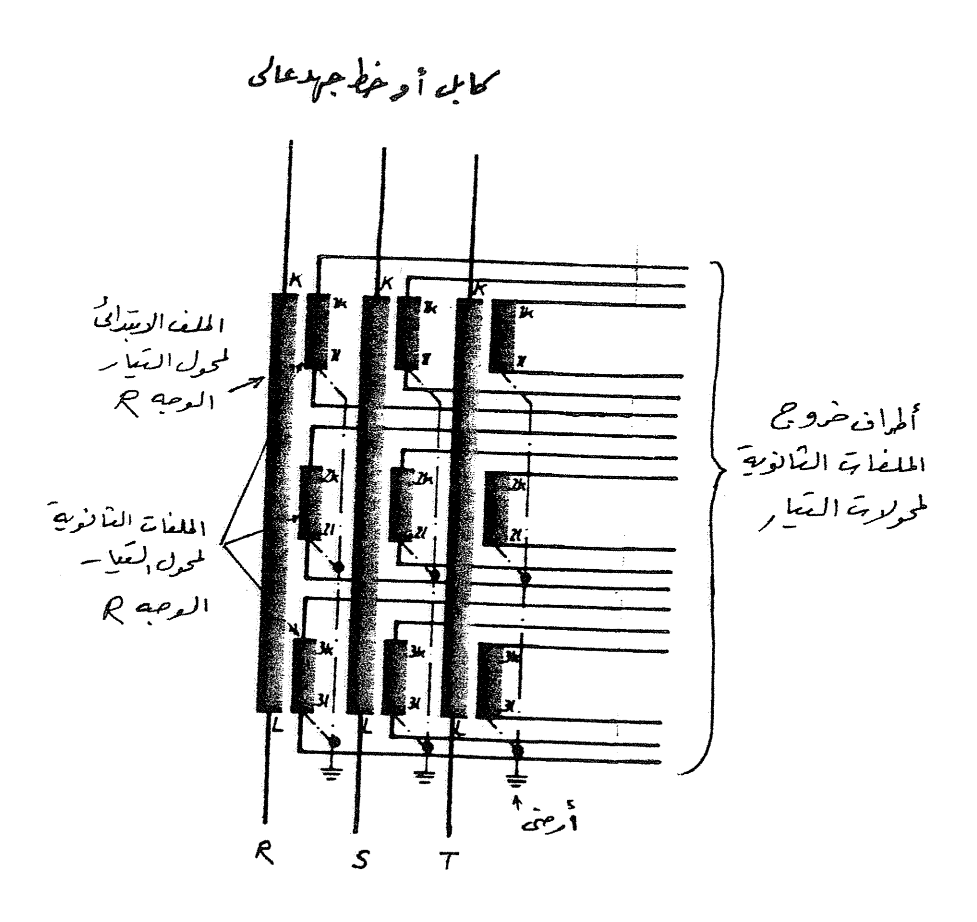
٥- يتم استخدام محولى تيار فقط - ويوصل معهما جهازان يمر فى كل منهما تيار الوجه الموصل عليه محول التيار - ويمر بنقطة التعادل التيار المار بالوجه الثالث باشارة عكسية، كما فى شكل (٣٤ -٤) هـ.

شكل (٣٥- ٤) يوضح الشكل التوضيحى لمحول تيار بياناته كالآتى:

نسبة التحويل ٨٠٠ / ٥ /٥ /٥ (يحتوى على ثلاثة ملفات ثانوية)

الحمل ٣٠/ ٦٠/ ٦٠ فولت أمبير.


خط
جهاز
محولات تيار
(ب)
(أ)
(ج)
(د)
(هـ)



كابل أو خط جهد عالى
الملف الابتدائى لمحول التيار الوجه R
الملفات الثانوية لمحول التيار الوجه R
أطراف خروج الملفات الثانوية لمحولات التيار
أرضى
R
S
T
K
L

شكل (٣٥-٤)

محولات الجهد

Voltage Transformers (VT)

or Potential Transformers (PT)

لا يمكن ان تقاس الجهود التى تكون أعلى من ٦٠٠ ڤولت مباشرة، نظرا لخطورة الاقتراب من الجهود المرتفعة، لذلك يتم خفض الجهد بمعدة كهربائية معينة، ثم يتم قياسة من خلالها.

الطرق المستخدمة لتخفيض الجهود المرتفعة

١- مقسم مقاومة Resistance Divider

تستخدم هذه الطريقة عادة فى المعامل، ولكن لا يمكن استخدامها فى محطات القدرة الكهربائية.

٢- محول جهد مغناطيسى Magnetic voltage Transformer

ويستخدم فى المحطات الكهربائية للجهود من ٦٠٠ ڤولت وحتى ٦٦٠٠٠ ڤولت

٣- مقسم سعوى Capacitive Divider

أو محول الجهد بالمكثف Capacitor Voltage Transformer

ويستخدم فى المحطات الكهربائية للجهود أعلى من ٦٦٠٠٠ ڤولت.

نستعرض فيما يلى محول الجهد المغناطيسى، الذى يطلق عليه عادة محول جهد، ويرمز له بالرمز (PT) أو (VT) ومحول الجهد بالمكثف، ويرمز له بالرمز (CVT)

١-٥ محول الجهد المغناطيسى

Magnetic Voltage Transformer (VT) or (PT)

يتكون هذا المحول، الذى يطلق عليه إسم محول الجهد، من:

- دائرة مغناطيسية مقفلة، تتكون من رقائق من الحديد السيليكونى.
- ملف ابتدائى (Primary Winding)، يحتوى على عدد كبير من اللفات، ويوصل على التوازى مع الدائرة المراد تركيب محول الجهد عليها.
- ملف ثانوى (SecondaryWinding)، يحتوى على عدد أقل من اللفات، ويوصل على التوازى بملفات الجهد فى أجهزة القياس والوقاية.

يتم عزل الملف الابتدائى عن الملف الثانوى بمادة عزل (Insulation)، تعتمد على جهد التشغيل، فكلما زاد الجهد كلما زاد عزل الملفات.

ويكون الغرض الرئيسى من استخدام محول الجهد هو الحصول على جهد اسمى من الملف الثانوى، عند تسليط جهد اسمى على الملف الابتدائى.

يعتمدا اختيار محولات الجهد على:

- مستوى جهد المنظومة (System Voltage Level)
- مستوى العزل الاساسى للنبضة العارمة (Basic Impulse Insulation level)، اللازم فى المنظومة، التى يتم تركيب محولات الجهد لها.

ويكـــون الجهـــد الاسمى للملف الثانوى المسموح به ١٠٠، ١١٥، ١٢٠ ڤولت، ويكون جهد الوجه المقابل $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ، $\frac{١١٥}{\sqrt{٣}}$ ، $\frac{١٢٠}{\sqrt{٣}}$ ڤولت.

شكل (١ –٥) أ يوضح المكونات الرئيسية لمحول الجهد، وفيه تم توصيل الملف الثانوى على جهاز ڤولتمتر – شكل (١ –٥) ب يوضح تمثيل محول الجهد.

الدائرة المكافئة لمحول الجهد المغناطيسى

يمثل شكل (٢–٥)أ الدائرة المكافئة لمحول الجهد (PT)، حيث ab يمثل الملف الابتدائى، cd يمثل الملف الثانوى. نسبة التحويل N_1/N_2 تساوى n:1 ، نسبت معاوقة الملف الابتدائى Z_1 الى الملف الثانوى فأصبحت Z_1/n^2، معاوقة الملف الثانوى Z_2، بينما X_m ، R_m ، تمثلان مركبة فقد القلب، ومركبة الاثارة، كذلك Z تمثل معاوقة الحمل الموصل على الملف الثانوى لمحول الجهد.

يمكن تبسيط الدائرة المكافئة كما فى شكل (٢ –٥) ب – فى هذه الحالة أهملت X_m ، R_m بينما شكل (٢ –٥) جـ يوضح رسم (مخطط المرتحلات Phasor diagram) ويلاحظ من رسم مخطط المرتحلات ان فقد الجهد يعتبر كبيرا نسبيـــا، وعادة يكون جهـــد الملـــف الثانوى ($V_2 = V_{ef}$) متأخـــرا عن جهـــد الملـــف الابتـــدائى ($V_1 = V_{cd} = \frac{V_{ab}}{n}$) ، أقصى نسبة خطأ تكون ٠,٣ ، ٠,٦ ، ١,٢٪ يعمل محول الجهد بنفس الطريقة التى يعمل بها محول القدرة أو محول التوزيع، والاختلاف الرئيسى يكمن فى أن قدرة محول الجهد تكون صغيرة جدا، بالمقارنة بمحولات القدرة والتوزيع، حيث تكون قدرة محول الجهد عادة فى حدود ١٠٠ إلى ٥٠٠ ڤولت – أمبير. ويكون جهد المخرج حوالى ١٠٠ – ١٢٠ ڤولت. ويتم توصيل الملف الثانوى مع ملفات الجهد، الخاصة بأجهزة الوقاية والقياس، على التوازى، وعادة يكون التيار المار بالملف

الثانوى I_2 (فى شكل (٢ - ٥)) صغيرا جدا، وهو الذى يلزم لتشغيل ملفات الجهد فى أى جهاز لقياس جهد قيمته حوالى ١٠٠ ڤولت، ويقاس عادة بالمللى أمبير وتكون نسبة التحويل:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

يستهلك القلب تيار مغنطة I_0 (Magnetizing Current)، ويقل جهد المخرج عن القيمة الحقيقية بالمكونات الآتية:

- خفض الجهد (Voltage Drop) نتيجة التيار I_0 تساوى $Z_1^{\backprime} I_0^{\backprime}$
- خفض الجهد (Voltage Drop) نتيجة التيار I_2 تساوى $Z_1^{\backprime} I_2$
- خفض الجهد (Voltage Drop) نتيجة التيار I_2 تساوى $Z_2 I_2$

وكلها منسوبة إلى الملف الثانوى، حيث $I_0^{\backprime} = n I_0$ ، $Z_1^{\backprime} = \frac{Z_1}{n^2}$

ويكون خفض الجهد الكلى عبارة عن (جمع اتجاهى):

$$\Delta V = Z_1^{\backprime} I_0^{\backprime} + Z_1^{\backprime} I_2 + Z_2 I_2 = V_{cd} - V_{ef} \longrightarrow (١)$$

وتكون نسبة تحويل الجهد التى صمم عليها المحول والتى تعتبرها نسبة التحويل الأصلية للمحول هى n حيث $n = \frac{V_1}{V_{cd}}$

ولكن نسبة التحويل الفعلية $n^{\backprime}$ التى تتأثر بها قراءة الڤولتمتر عند وجود الحمل عبارة عن:

$$n^{\backprime} = \frac{V_1}{V_{ef}} = n\frac{V_{cd}}{V_{ef}} = n\frac{(V_{ef} + \Delta V)}{V_{ef}} = n\left(1 + \frac{\Delta V}{V_{ef}}\right) \longrightarrow (٢)$$

ويكون الخطأ النسبى r فى نسبة التحويل عبارة عن:

$$r = \frac{n - n\frac{V_{cd}}{V_{ef}}}{n} = \frac{n - n^{\backprime}}{n}$$

$$r = \frac{V_{ef} - V_{cd}}{V_{ef}} = -\frac{\Delta V}{V_{ef}} \longrightarrow (٣)$$

وهذا يعنى أن أستخدام نسبة التحويل الأصلية n، فى الحصول على الجهد العالى المطلوب قياسة V_1، من قراءة الڤولتمتر V_{ef}، سوف يقترن بخطأ نسبى سالب مقداره $\frac{\Delta V}{V_{ef}}$ ، أى أننا نحصل على قرءاة تقل عن القراءة الصحيحة بمقدار $\frac{\Delta V}{V_{ef}}$ n ، وأننا يجب أن نستخدم نسبة التحويل الفعلية `n، لكى نحصل على القيمة الحقيقية للجهد العالى من قراءة الڤولتمتر، وهذا هو مانشير إليه أيضا المعادلة رقم ٢، التى تعطى قيمة `n، بدلالة كل من هبوط الجهد ΔV، وقراءة الڤولتمتر V_{ef}، ونسبة التحويل الأصلية n. هذا ويمكن تقدير قيمة تقريبية ΔV من معامل التنظيم ع للمحول باعتبار تيار الحمل I_2 ومعامل قدرته CosØ ، على النحو التالى:

$$ع = \frac{V_{cd} - (I_2 R_{2eq} \cos ø + I_2 X_{2eq} \sin ø)}{V_{cd}}$$

حيث

$$R_{2eq} = \frac{R_1}{n^2} + R_2$$

$$X_{2eq} = \frac{X_1}{n^2} + X_2$$

أى أنه يمكن اعتبار القيمة التقريبية المقبولة لـ Δ V هى:

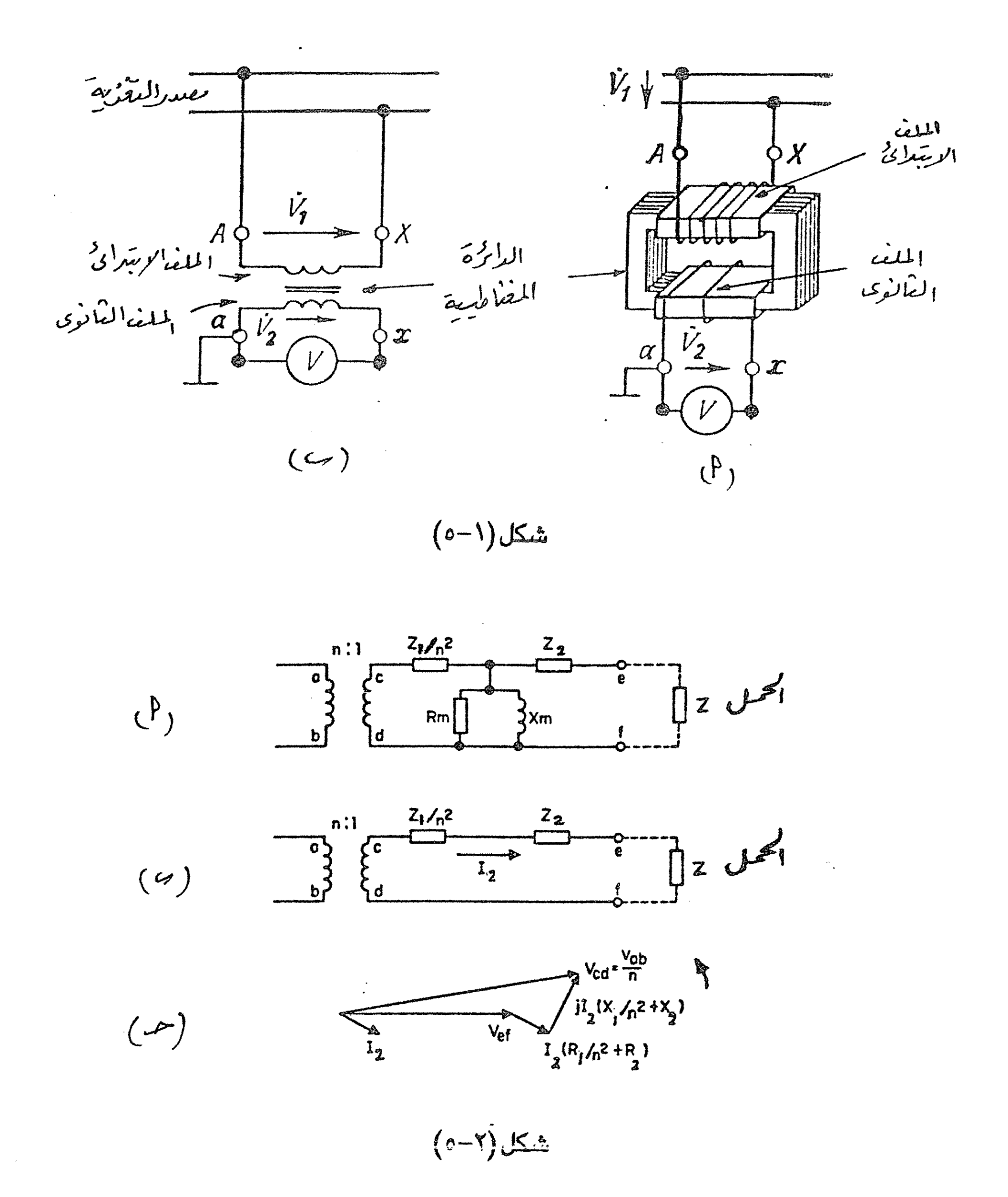
$$\Delta V = I_2 R_{2eq} \cos ø + I_2 X_{2eq} \sin ø$$

٢ -٥ أنواع محولات الجهد:

يجب الاهتمام بتحديد نوع محول الجهد الذى يعمل على الجهود المرتفعة والفائقة، بالنسبة لدوائر الجهد التى يزيد فيها الجهد عن ٢٥ ك.ف يصمم محول الجهد عادة للتركيبات التى تكون خارج المبنى، ويمكن أن يكون بعازل واحد (One - Bushing Type) أو بعازلين (Two Bushing Type). أما بالنسبة لدوائر الجهد أقل من ٢٥ ك.ف، يصمم محول الجهد للتركيبات التى تكون داخل أو خارج المبنى.

وعند الحاجة لا ستخدام دوائر جهد بين وجه والأرض، يستخدم محول جهد ذو عازل أحادى (Single - Bushing V.T)، بينما يستخدم محول الجهد ذو العازلين للتوصيل بين وجه و الأرض أو بين وجهين.

شكل (٣ - ٥) يوضح أمثلة لمحولات الجهد ذات الجهد المنخفض، حيث تكون مادة العزل عبارة عن راتنجات صلبة.



مصدر التغذية
A
X
V_1
الملف الابتدائى
الدائرة المغناطيسية
الملف الثانوى
a
x
V_2
V
(ب)
(أ)
n:1
Z_1/n^2
Z_2
a
b
c
d
e
f
Rm
Xm
Z
الحمل
I_2
$V_{cd}=\frac{V_{ab}}{n}$
$jI_2(X_1/n^2+X_2)$
V_{ef}
$I_2(R_1/n^2+R_2)$
(ح)

شكل (١-٥)

شكل (٢-٥)

شكل (٣ - ٥)أ يوضح محول جهد للتركيب داخل أو خارج المبنى ذا نسبة تحويل ٦٠٠/ ١٥٠ فولت أو ٤ /١.

شكل (٣ -٥) ب يوضح محول جهد للتركيب داخل أو خارج المبنى ذا نسبة تحويل ١٢٠٠ / ٢٤٠ فولت أو ٥ /١.

شكل (٣ - ٥) حـ يوضح محول جهد للتركيب داخل المبنى، يحتوى على مصهرات، ذا نسبة تحويل ٢٤ /١.

شكل (٣ - ٥) ء يوضح محول جهد للتركيب داخل المبنى، نسبة تحويل ٢٤٠٠ / ٢٤٠ فولت.

شكل (٤ - ٥) يوضح أمثلة لمحولات الجهد ذات الجهد المتوسط.

شكل (٤ -٥)أ يوضح محول جهد للتركيب داخل المبنى، ذا نسبة تحويل $\frac{٦٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ فولت بمادة عزل عبارة عن راتنجات مصبوبة (Cast Resin).

شكل (٤ -٥) ب يوضح محول جهد للتركيب داخل المبنى، ذا نسبة تحويل ١٠٠٠ /١٠٠ فولت بمادة عزل عن راتنجات مصبوبة.

شكل (٤ -٥) حـ يوضح محول جهد للتركيب خارج المبنى، ذا نسبة تحويل ١٤٤٠٠ / ١٠٠ فولت من النوع المملوء بزيت العزل.

شكل (٥ -٥) يوضح محولات جهد ذات وجه واحد أنتاج شركة (Allis Chalmers) الامريكية.

شكل (٦ -٥) يوضح محولات جهد ذات وجهين أنتاج شركة (Allis Chalmers) الأمريكية

فيما يلى بعض أمثلة لمحولات جهد أنتاج شركة سيمنز ذات جهود عالية وفائقة:

شكل (٧-٥) يوضح محول جهد ذا نسبة تحويل $\frac{٦٦}{\sqrt{٣}}$ ك.ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ فولت.

المحول يتكون من قلب حديدى، وملفين ابتدائى وثانوى، عبارة عن طبقات من المخدات (Layer Coils)، وجميعها موضوعة فى وعاء من سبيكة الومنيوم، ومعالج ضد الصدأ، والوعاء مملوء بزيت عازل - العزل الخارجى عبارة عن مادة البورسلين - أطراف الملفات الثانوية الخارجة تكون معزولة تمام عن مسار الزيت - من مواصفات هذا

المحول.

القدرة = ٦٠٠ ڤولت . أمبير

مقنن التيار لوقت طويل = ٩ أمبير.

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى = ٣٠ أمبير.

شكل (٨ –٥) يوضح محول جهد ذا نسبة $\frac{١١٠}{\sqrt{٣}}$ ك.ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف/ $\frac{١٠٠}{٣}$ ف،

التركيب داخل المبنى، مادة العزل عبارة عن راتنجات مصبوبة (Cast Resin) – يمتلك المواصفات الآتية:–

القدرة = ٦٠٠ ڤولت أمبير.

مقنن التيار لوقت طويل = ٩ أمبير.

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى = ٣٥ أمبير.

شكل (٩–٥) يوضح محول جهد ذا نسب جهد $\frac{١٥٠}{\sqrt{٣}}$ ك .ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف/ $\frac{١٠٠}{٣}$ ف،

التركيب خارج المبنى – من النوع ذى الوعاء، حيث يحتوى الوعاء على القلب والملفات ويكون مملوء بزيت العزل، ويحكم غلق الوعاء، ويكون العزل الخارجى من البورسلين.

من مواصفات المحول:

القدرة = ٤٥٠ ڤولت أمبير.

مقنن التيار لوقت طويل = ٩ أمبير.

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى = ٥٢ أمبير.

شكل (١٠ –٥) يوضح محول جهد ذا نسبة جهد $\frac{٢٢٠}{\sqrt{٣}}$ ك .ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{٣}$ ف

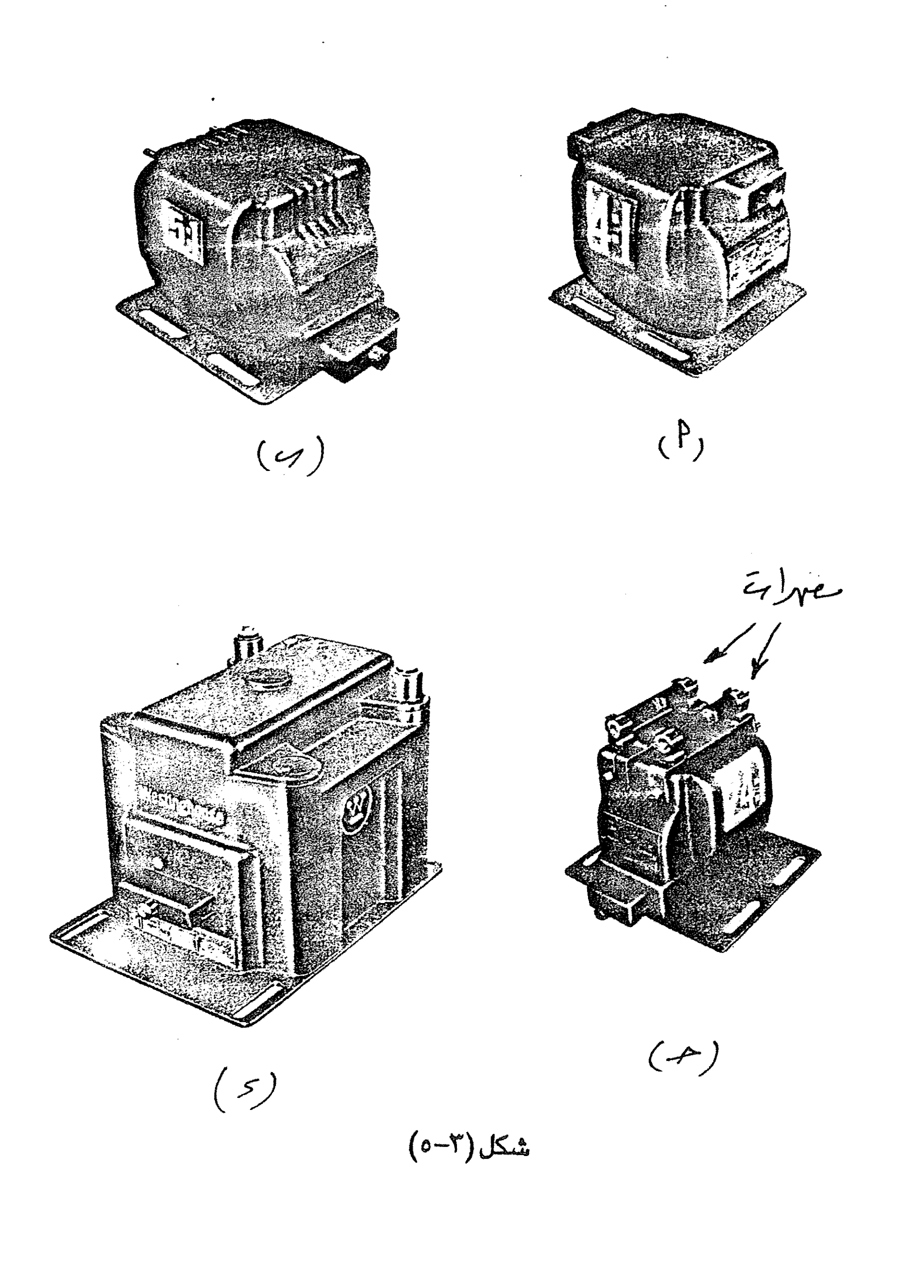
التركيب خارج المبنى – مملوء بالزيت ومحكم الغلق – العزل الخارجى من البورسلين.

من مواصفات المحول:

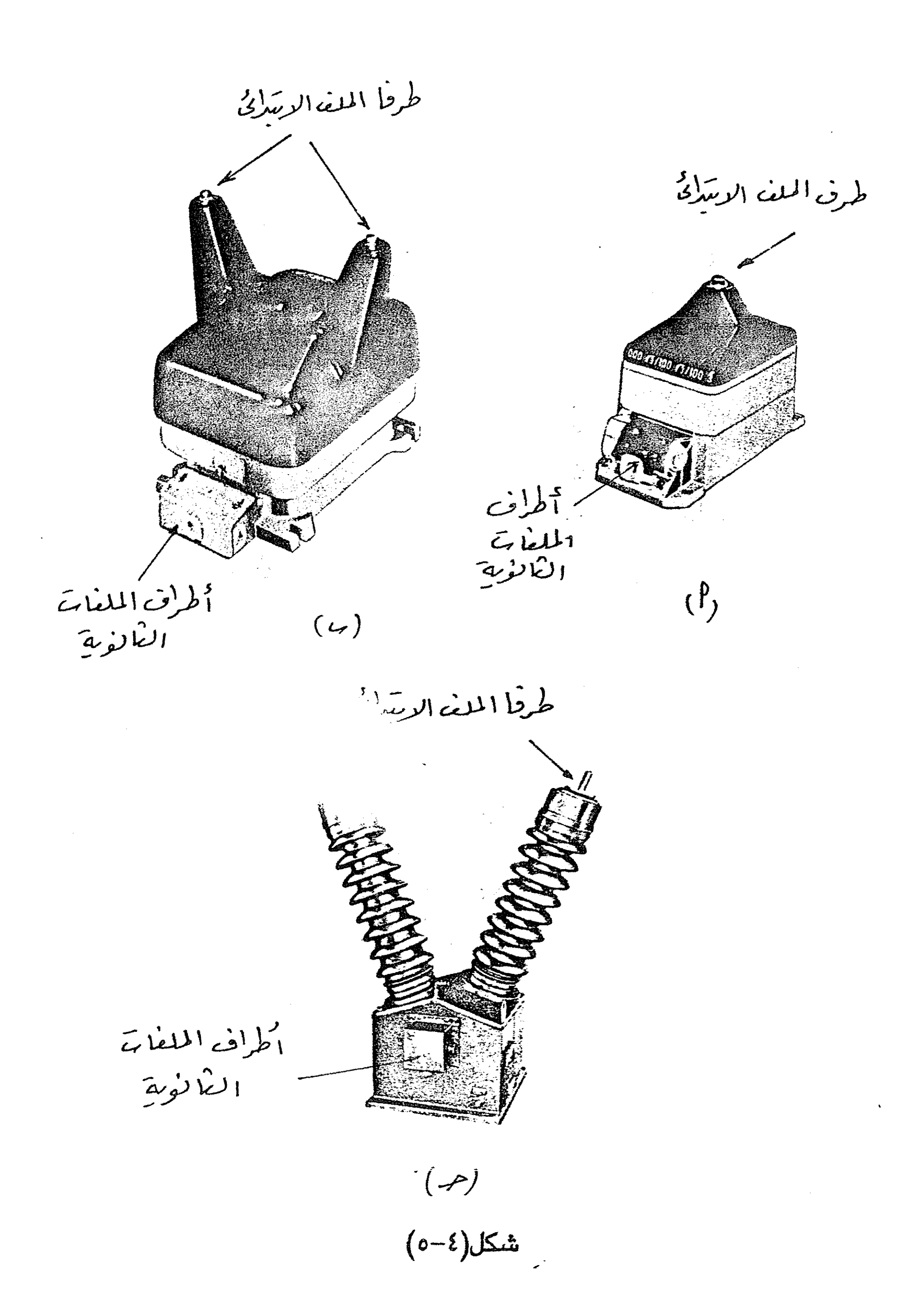
القدرة = ٦٠٠ ڤولت أمبير

مقنن التيار لوقت طويل = ٩ أمبير

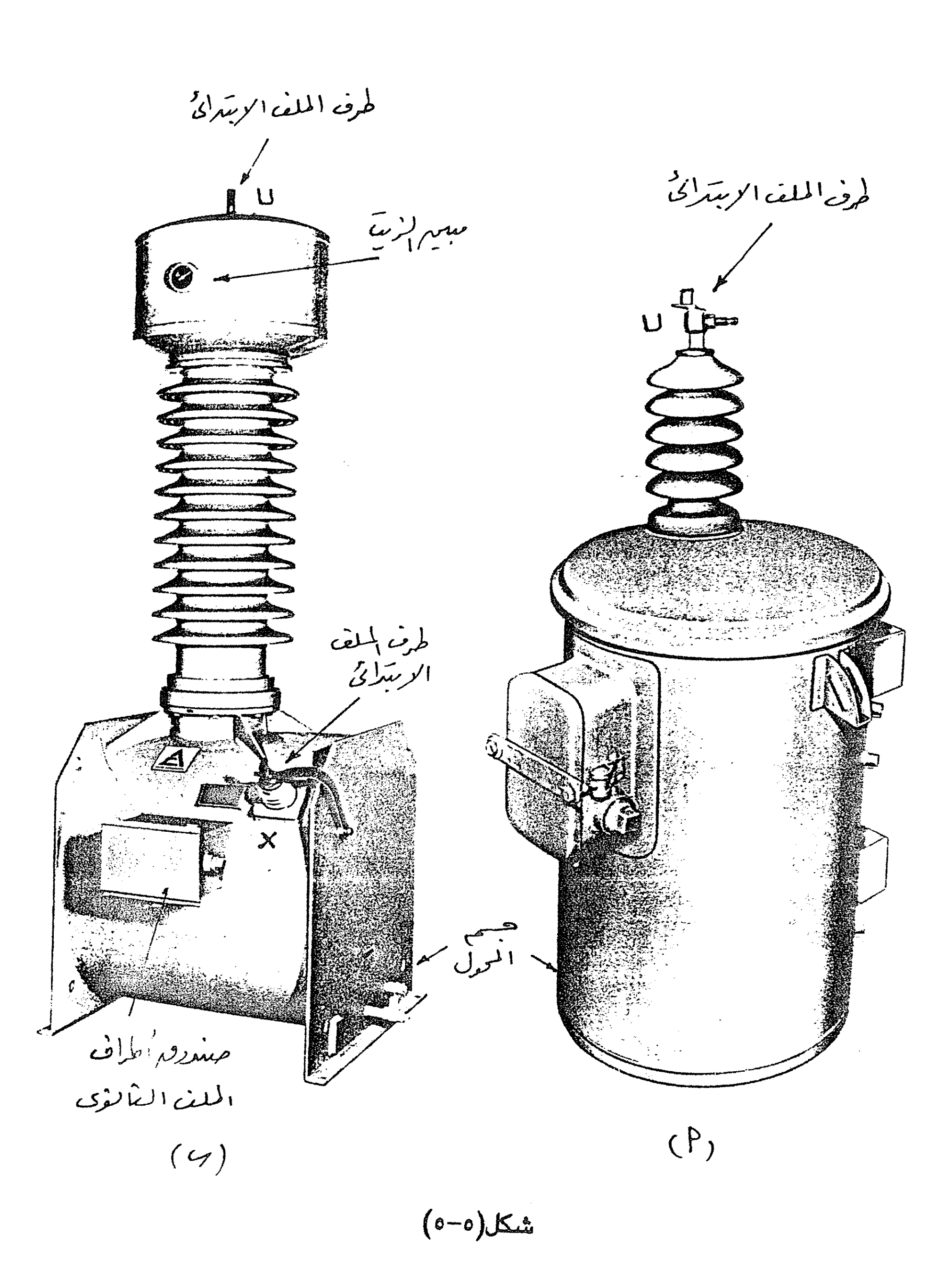
تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى = ٨٥ أمبير.



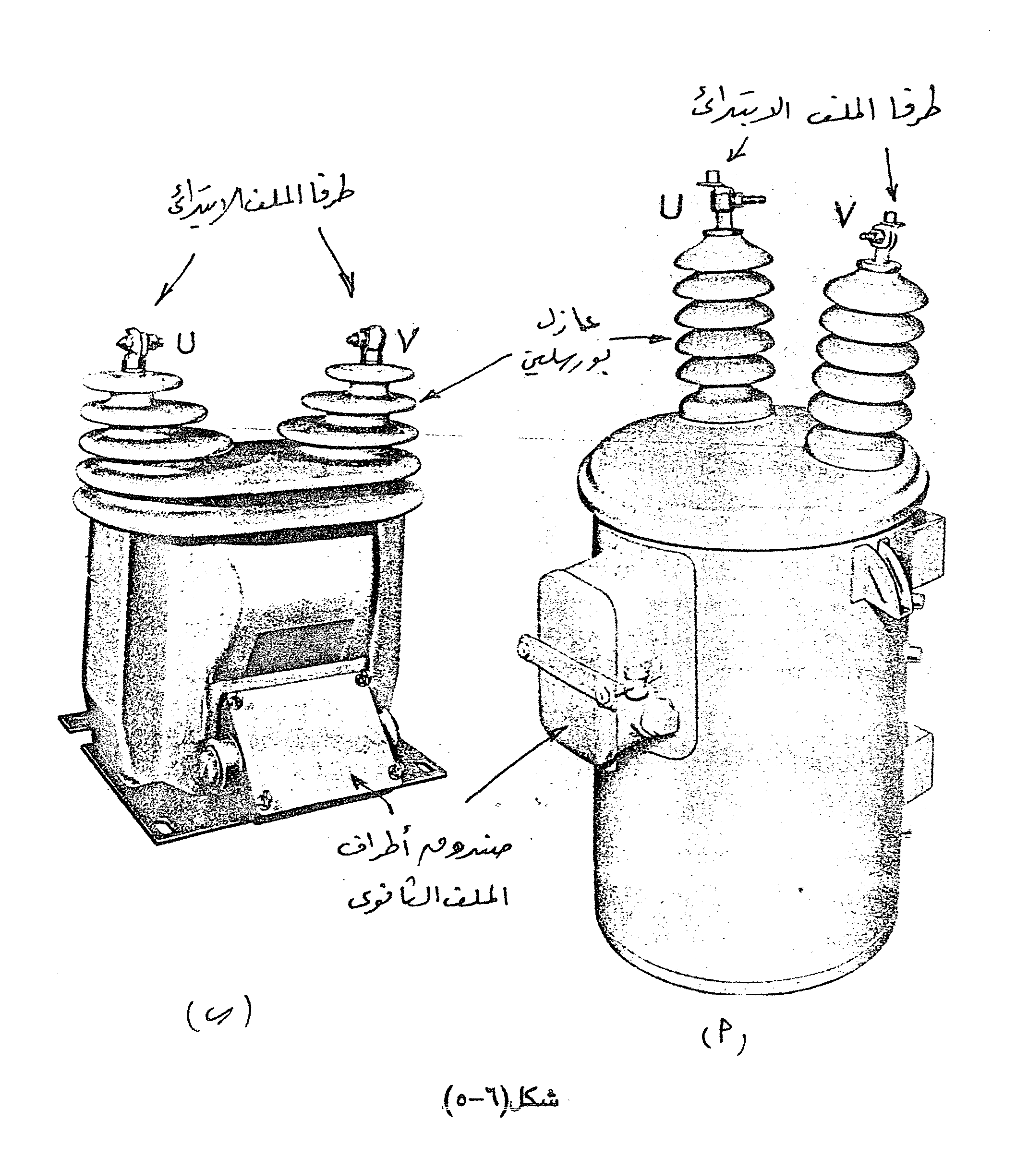
شكل (٣-٥)


طرفا الملف الابتدائي
طرف الملف الابتدائي
أطراف الملفات الثانوية
أطراف الملفات الثانوية
(ب)
(أ)
طرفا الملف الابتدائي
أطراف الملفات الثانوية
(جـ)

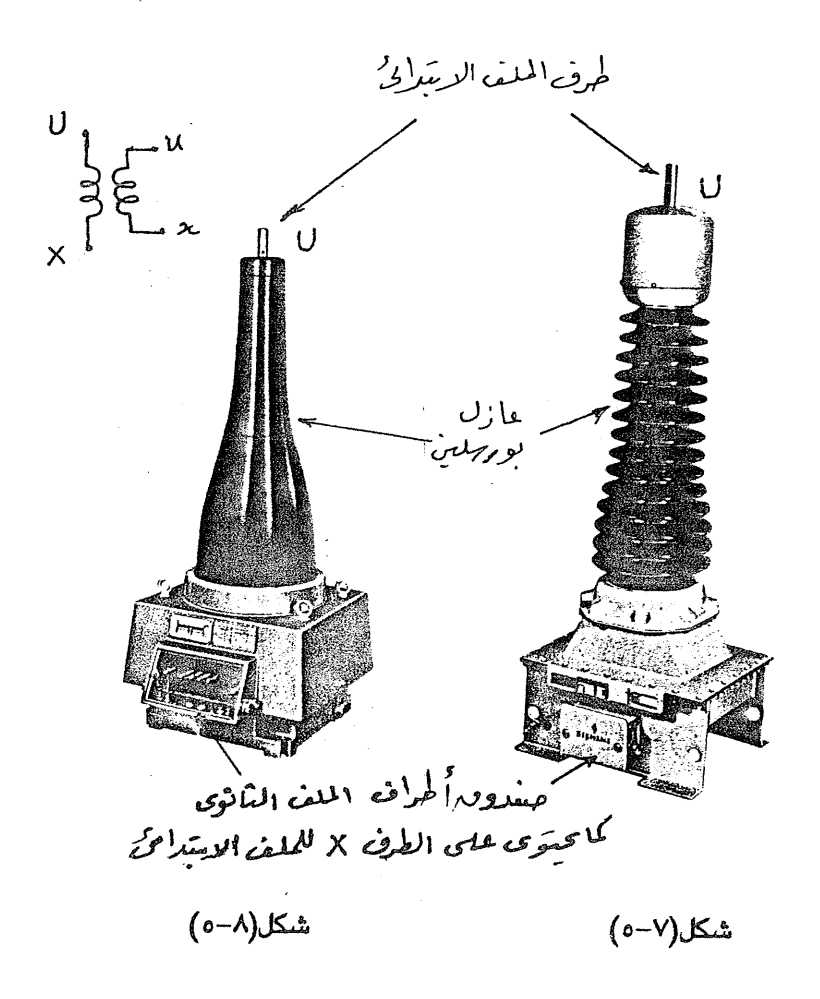
شكل(٤-٥)


طرف الملف الابتدائي
U
مبين الزيت
طرف الملف الابتدائي
U
طرف الملف الابتدائي
X
جسم المحول
صندوق أطراف الملف الثانوي
(ب)
(أ)

شكل(٥-٥)

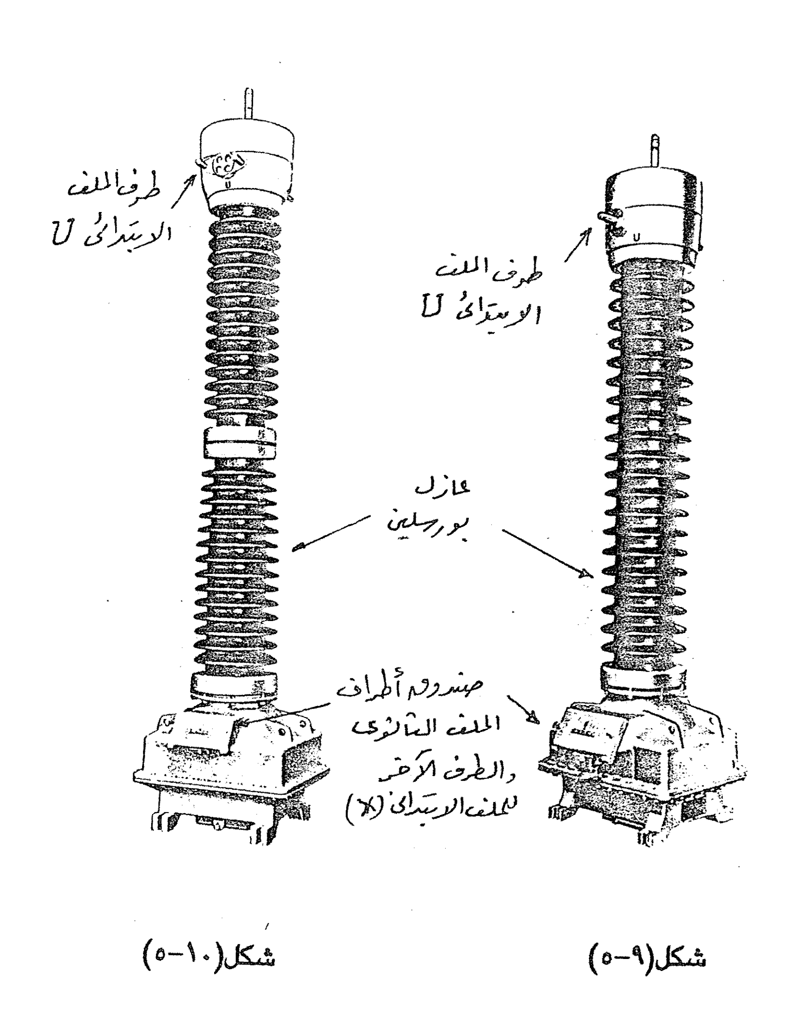

طرفا الملف الابتدائى
U
V
طرفا الملف الابتدائى
U
V
عازل
بورسلين
صندوق أطراف
الملف الثانوى
(ب)
(أ)

شكل(٦-٥)



طرف الملف الابتدائي
U
u
x
X
U
U
عازل
بورسلين
صندوق أطراف الملف الثانوي
كما يحتوي على الطرف X للملف الابتدائي

شكل(٥-٧) شكل(٥-٨)



شكل(٩-٥)

شكل(١٠-٥)

٣-٥ محول الجهد بالمكثف Capacitor Voltage Transformer (CVT)

للجهود من ١٠٠ ك .ف الى ٣٨٠ ك .ف يستخدم محول الجهد ذو المكثف (CVT) للحصول على جهد منخفض، من الملف الثانوى، لتغذية دوائر القياس والوقاية. ويتكون ببساطة من مقسم جهد سعوى (Capacitive Potential Divider) ، عبارة عن مجموعة مكثفات متصلة على التوالى، يتم عن طريقها تخفيض الجهد إلى قيمة مناسبة، توصل على الملف الابتدائى لمحول جهد مغناطيسى، ويتم تخفيض هذا الجهد وتوصيله إلى ملفات الجهد لأجهزة الوقاية والقياس. شكل (١١ -٥) يوضح ذلك.

يتم توصيل ثغرة شرارة (Spark Gap) على الملف الابتدائى لمحول الجهد المغناطيسى (PT)، وذلك لحماية العازل (Bushing) وكذلك الأجهزة المتصلة على الملف الثانوى للمحول. يمكن أن يحتوى (CVT) على ممانعة متغيرة ومكثف، متصلين على الملف الثانوى للمحول (PT)، يمكن عن طريقهما ضبط الجهد الثانوى فى القيمة والاتجاه، كما فى شكل (١٢ - ٥). من المميزات الهامة لمحول الجهد ذو المكثف (CVT) أنه يمكن استخدامه لانشاء الازدواج مع منظومات خطوط القدرة حاملة الترددات العالية Coupling High - Frequency Power - Line Carrier Systems (PLC) مثل خطوط التليفونات (Telephony)، وخطوط دوائر التحكـــم عن بعـــد (Telecontrol) .وطبقا للمواصفات القياسية VDE 0414 يتم تأريض المكثف من جهة الأرضى من خلال ملف (Integrated Choke).وعند عدم الحاجة لتشغيل نظام الازدواج مع (PLC) فانه يمكن عمل دائرة قصر خارجة على الملف (لاحظ دائرة القصر B فى شكل (١٣ -٥)، ويتم حماية الملف عن طريق مانعة صواعق (Lightning Arrester) شكل(١٣ -٥) يوضح مكونات (CVT) مع نظام الازدواج (PLC).

يرمز لمحول الجهد ذو المكثف الازدواجى Coupling Capacitance Vollage Transformer بالرمز (CCVT)، ولتجنب الجهود العابرة (Transient)، يجهز (CCVT) بعنصر لاخماد هذه الجهود. شكل (١٤ -٥) يوضح شكل موجة الجهد الابتدائى فى حالتى الدوام (Steady State)، وعندما تكون عابرة (Transient). شكل (١٥ -٥) أ يوضح مكونات L , Z فى الدائرة (١٣ -٥). بينما شكل (١٥ - ٥) يوضح الدائرة المكافئة (مبسطة) لمحول CCVT، وهى تتكون من R, L, C فقط. عند حدوث قصر أو أعطال فجائية تتغير قيمة الجهد الابتدائى، ويمكن أن يصاحبه تغيير فى

الاتجاه، وفى البداية لا يتأثر الجهد الثانوى، لاختزانه فى L ,C، ولكن بمعنى الزمن يتأثر الجهد الثانوى، ويعتمد هذا الزمن على قيمة R, L, C

نسبة تحويل محول CVT

تعرف نسبة التحويل من شكل (١١ –٥) كالآتى:

$$K_1 = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{E_1}{E_2}$$

بينما تكون نسبة تحويل محول (P T)

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3}$$

معامل نسبة التحويل الكلى (Total Ratio Factor) عبارة عن:

$$K = K_1 K_2$$

عادة تكون النسبة K_1 مختارة بحيث

$$E_2 = \frac{22}{\sqrt{3}} KV$$

وعلى ذلك فانه بالنسبة لمحولات (CVT) المختلفة، تختلف C_1 فقط، ولكن المحول PT يكون قياسيا، أى يتحكم فقط فى الملف الابتدائى لمحول (CVT)

فيما يلى أمثلة لمحولات الجهد ذو المكثف (CVT) أنتاج شركة سيمنز:

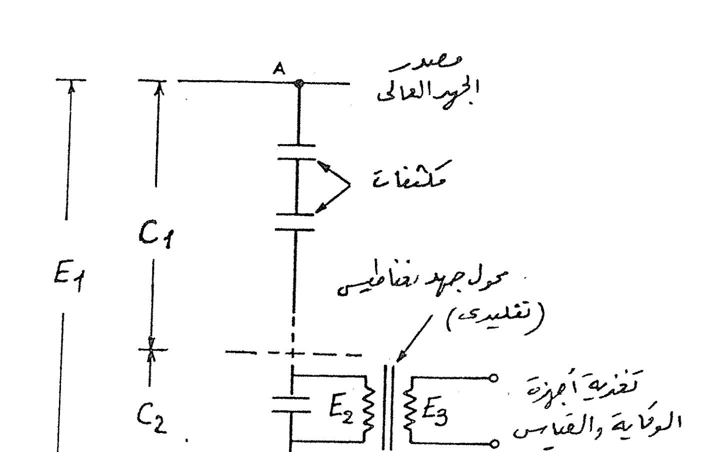
شكل (١٦ –٥) يوضح محول الجهد ذو المكثف. نسبة الجهد فيه $\frac{١١٠}{٣\surd}$ ك.ف/ $\frac{١٠٠}{٣\surd}$ ف/ $\frac{١٠٠}{٣}$ ف – سعة المكثف ٤٤٠٠ بيكو فاراد – يتكون من مقسم سعوى – مخول جهد مغناطيسى – ملف – دائرة اخماد رنين – العزل الخارجى من البورسلين والعزل الداخلى زيت. مواصفات المحول:

القدرة: ١٥٠ ڤولت – أمبير

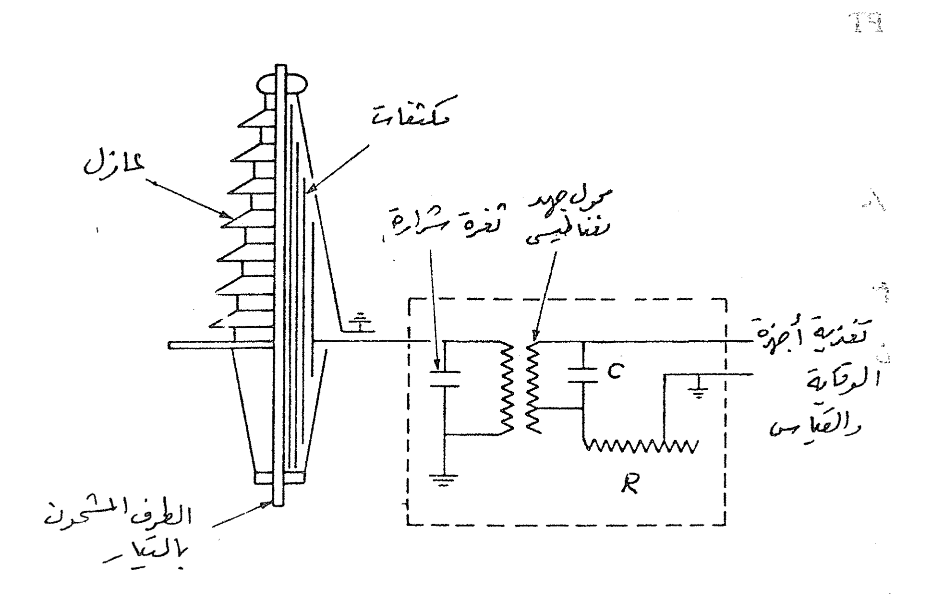
مقنن التيار لوقت طويل: ٩ أمبير.

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى: ١٧ أمبير.

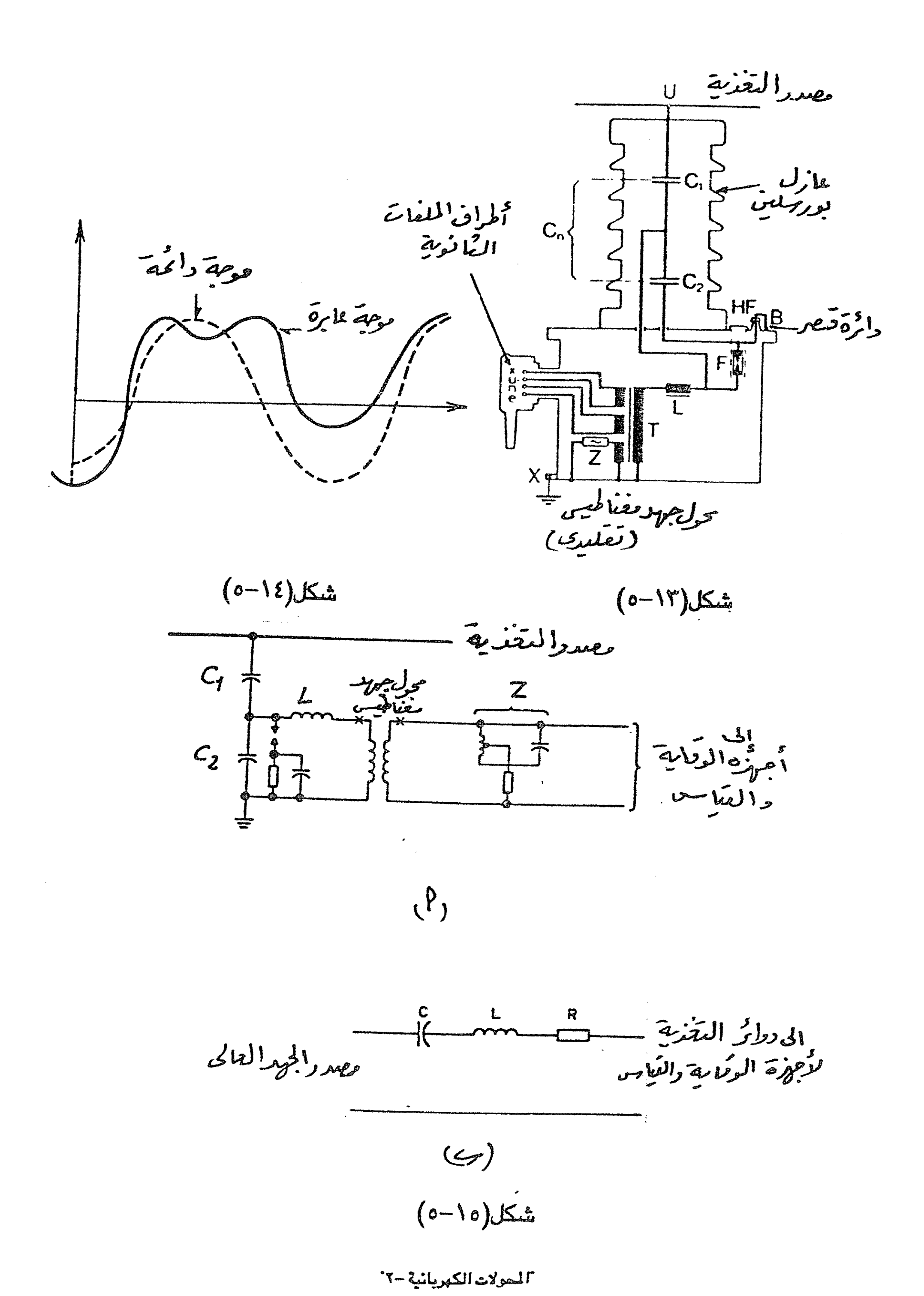
شكل (١٧ –٥) يوضح محول الجهد ذو المكثف – نسبة الجهد فيه $\frac{٢٢٠}{٣\surd}$ ك ف/



شكل(١١-٥)



شكل(١٢-٥)



شكل(١٤-٥)

شكل(١٣-٥)

(أ)

(ب)

شكل(١٥-٥)

$\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف/ $\frac{١٠٠}{٣}$ ف – سعة المكثف ٤٤٠٠ بيكو فاراد – القـــدرة ٤٠٠ ڤولت– أمبير.

شكل (١٨ –٥) يوضح محـــول الجهد ذو المكثف – نسبة الجهـــد فيه $\frac{٤٢٠}{\sqrt{٣}}$ ك .ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف/ $\frac{١٠٠}{٣}$ ف سعـــة المكثف: ٢٠٠٠ بيكو فاراد، ٢٦٠٠ بيكو فاراد، ٤٤٠٠ بيكو فاراد– مقسم الجهد العالى ينقسم إلى ثلاثة أجزاء بعازل من البورسلين. يمكن أن يصل طول هذا النوع الى حوالى ٦ أمتار. قدرة المحول تساوى ٤٠٠ ڤولت – أمبير.

٤ –٥ طريقة تمثيل محولات الجهد (Symbole)

كما ذكر سابقا، يتكون محول الجهد من ملف ابتدائى، وملف ثانوى، ودائرة مغناطيسية.

شكل (١٩ –٥) يوضح طرق تمثيل محول جهد. شكل (١٩ –٥)أ يمثل محول جهد ذا ملف ثانوى واحد، وتكتب نسبة التحويل كالآتى:

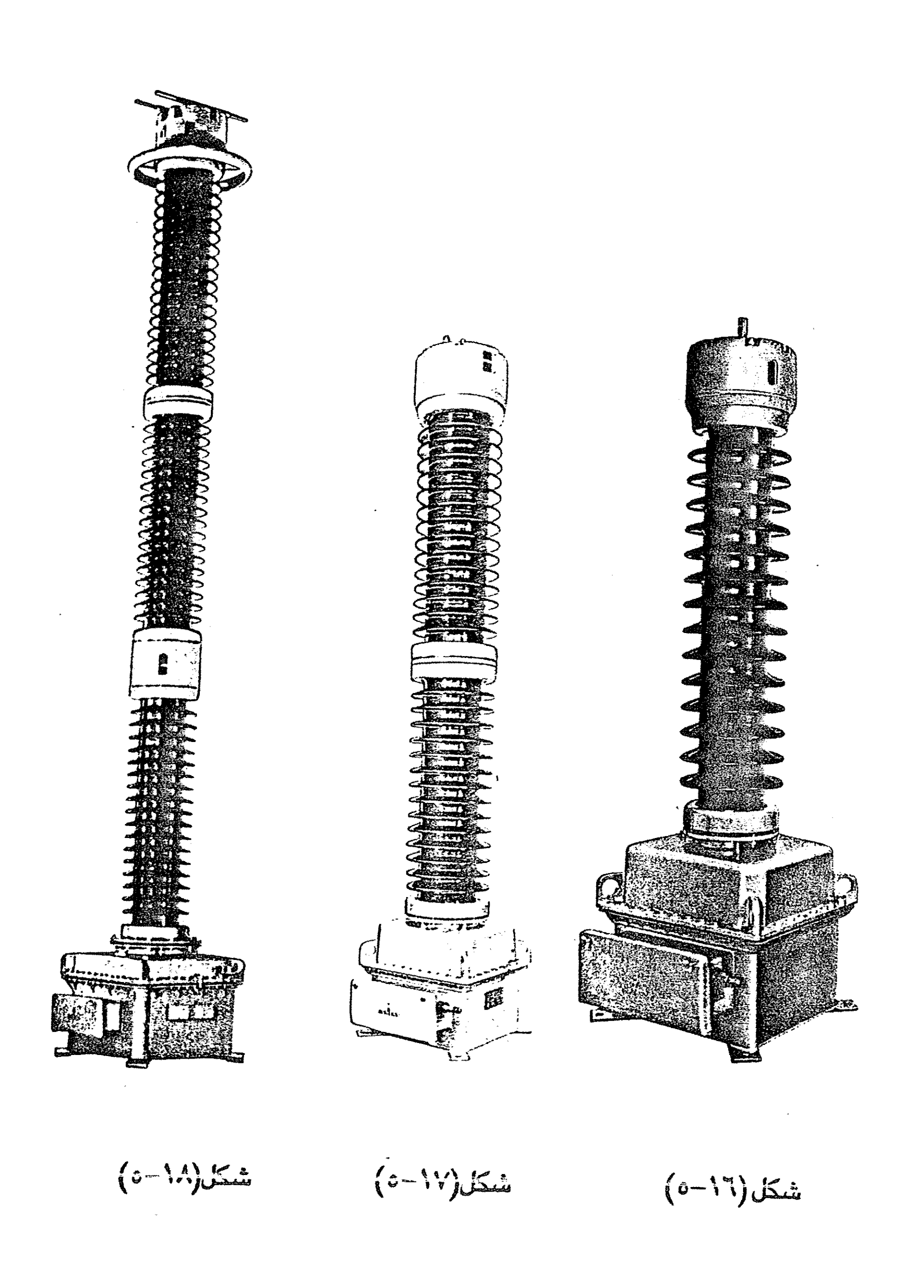
١١٠٠٠/ ١٠٠ ف، ٦٦٠٠٠/ ١٠٠ ف للمحولات ذوات الوجهين

أو $\frac{١١٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف، $\frac{٦٦٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف للمحـــولات ذوات الوجـه الواحـد.

ويمكن أن يحتوى محول الجهد على ملفين ثانويين كما فى شكل (١٩ –٥) ب، وتكتب نسبة التحويل كالآتى:

$\frac{١١٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{٣}$ ف، $\frac{٦٦٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠}{٣}$ ف وذلك للمحولات أحادية الوجه.

ويمكن فهم ماهية الملف الثانوى الثانى من طريقة توصيل الملفات ثلاثية الأوجه فى المحول، كما يتضح من شكل (٢٠ –٥) أ، حيث نجد أن توصيل الملف الابتدائى على شكل نجمة مؤرضة، وتوصل الملف الثانوى ذى نسبـــة التحـــويل $\frac{١١٠٠}{\sqrt{٣}}$/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ڤـولت (أى الملفات xu للاوجه الثلاثة)، هى على شكل نجمة أيضا، بينما يكون توصيل



شكل(١٨-٥)　　شكل(١٧-٥)　　شكل(١٦-٥)

الملــف الثانوى الثانى ذى نسبة التحـويل $\frac{11000}{\sqrt{3}}$ / $\frac{100}{3}$ فـولت (أى الملفات eu) على شكل نجمة – دلتا مفتوحة (يمكن أن تستخدم لأجهزة الوقاية ضد أعطال الجهد).

ومن هنا جاءت قيمة جهد الملف الثانوى لكل وجه $\frac{100}{3}$ ڤولت.

شكل (٢٠ –٥) ب يوضح طريقة توصيل محولى جهد كل منهما ذو وجهين، وذلك للحصول على نظام ثلاثى الأوجه.

٥ –٥ التعريفات الهامة المستخدمة فى محولات الجهد:

١– مقنن الجهد الابتدائى The Rated Primary Voltage (V_1)

هو جهد الملف الابتدائى، الذى سيتم توصيلة الى مصدر تغذية بنفس الجهد، فى حالة محول جهد سيتم توصيله بين خطين من خطوط التغذية، يكون مقنن الجهد الابتدائى هو جهد التشغيل بين خطين، بينما فى حالة محول جهد سيتم توصيلة بين خط والارض فان مقنن الجهد الابتدائى هو جهد التشغيل بين خطين مقسوما على $\sqrt{3}$

٢– مقنن الجهد الثانوى The Rated Secondary Voltage (V_2)

هو جهد المخرج على الملف الثانوى عند تسليط مقنن الجهد الابتدائى على الملف الابتدائى.

٣– نسبة التحويل Turns Ratio

هى النسبة بين مقنن الجهد الابتدائـــى ومقنن الجهـــد الثانوى أى النسبة بين V1/V2 أمثلة ذلك:

لمحول جهد أحادى الوجه:

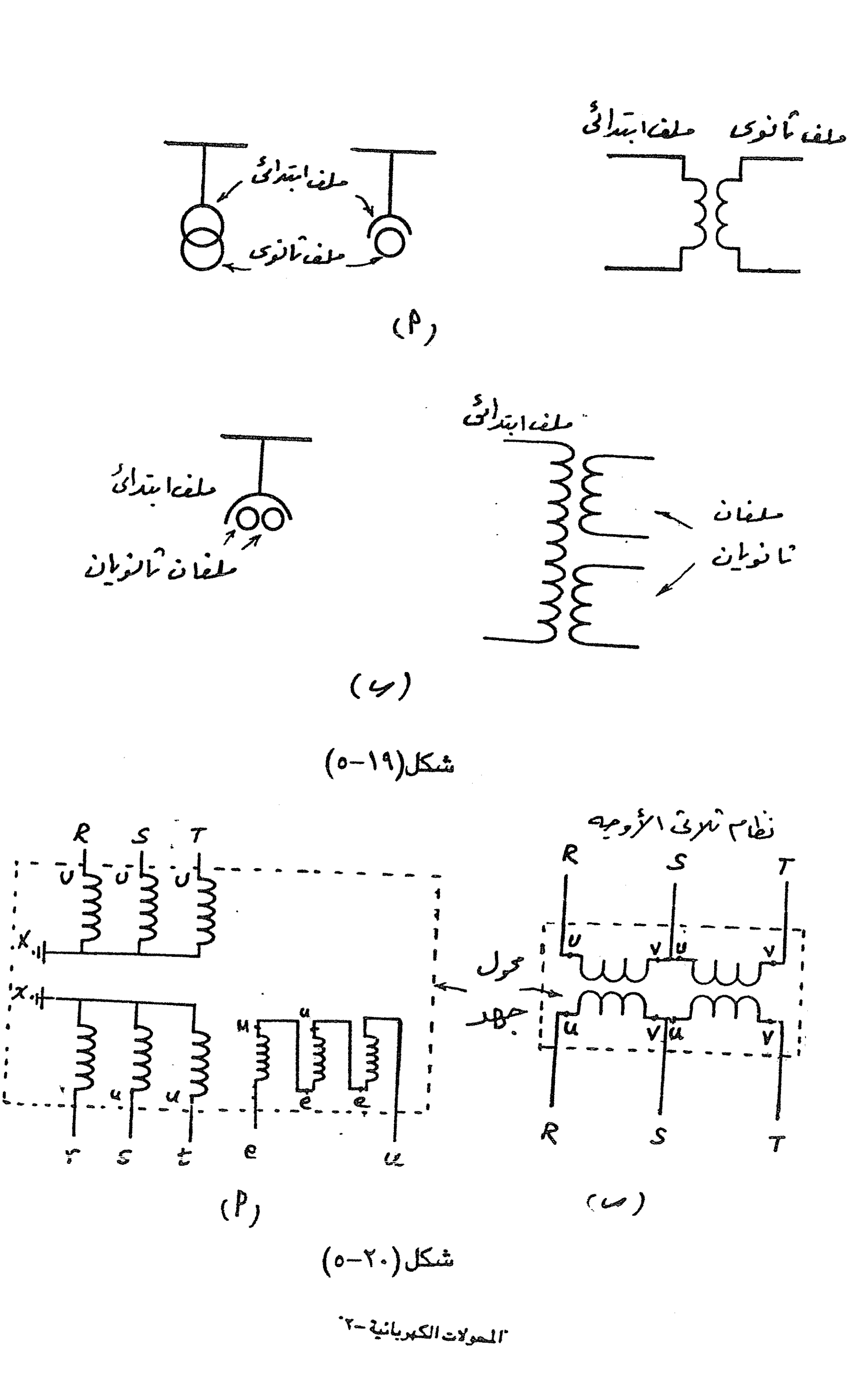
لمحول جهد ثنائى الوجه:

٤– حمل المحول Burden

يعبر عنه بمسامحية (Admittance) الأجهزة المتصلة على الملف الثانوى لمحول الجهد (المسامحية هى مقلوب المقاومة) ووحداتها "مهو" Mho (وهى أيضا مقلوب أوم Ohm).

٥– خطأ نسبة التحويل The Ratio Error

معادلة رقم ٣ تعرف خطأ نسبة التحويل، بأنه الفرق بين نسبة التحويل الحقيقية، ونسبة التحويل عندما يؤخذ انخفاض الجهد فــى الاعتبـــار، منسوبا إلى نسبة



شكل(١٩-٥)

شكل(٢٠-٥)

التحويل الحقيقة، أو تعرف بانها النسبة بين خفض الجهد الى مقنن الجهد الابتدائى.

٦- الاختلاف المرحلى The Phase Difference

هى زاوية الاختلاف المرحلى بين مقنن الجهد الابتدائى ومقنن الجهد الثانوى.

جدول (١-٥) يوضح حدود خطأ نسبة الجهد وكذلك الاختلاف المرحلى طبقا للمواصفات القياسية العالمية IEC 186، بينما يوضح جدول (٢- ٥) مقارنة بين المواصفات القياسية: ANSI, C57.13,CSAC 13 والاستخدامات المختلفة.

٦-٥ مجمع محول تيار مع محول جهد

Double Insulator Combination

يمكن أن يتم تجميع محول تيار ومحول جهد (ذو وجه واحد) فى قاعدة واحدة. ولا يكون هناك أى اتصال أو تداخل بين دوائر الجهد والتيار. لتجنب التداخل المتبادل (Mutual Interference) بين المحولين، فان محورى الدائرة المغناطيسية لكل منهما تكون متعامدة على الأخرى. يستخدم زيت العزل للعزل الداخلى والبورسلين للعزل الخارجى. يتم توصيل خوصه نحاس بين الملف الابتدائى لمحول الجهد والملف الابتدائى لمحول التيار. يتماثل محول الجهد ومحول التيار بالمجمع فى البيانات والمواصفات الفنية مع محولات الجهد والتيار المثلة، ولكن يتميز باحتياجة لحيز أصغر، بالمقارنة باستخدام محول جهد ومحول تيار، كل على حدة.

شكل (٢١ -٥) يوضح مجمع محولين من هذا النوع مواصفاته كالآتى:

محول الجهد:

نسبة التحويل $\frac{١١٠}{\sqrt{٣}}$ ك.ف/ $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف / $\frac{١٠٠}{٣}$ ف

القدرة: ٦٠٠ ڤولت أمبير.

مقنن التيار لوقت طويل: ٩ أمبير

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى: ٥٢ أمبير

محول التيار:

نسبة التحويل: ١:٢:٤ أو ٤ × ١٠٠ /٥/٥/٥ أمبير.

شكل (٢٢ -٥) يوضح مجمع محولى تيار وجهد مواصفاته كالآتى:

محول الجهد:

جدول(١-٥)

طبقاً للمواصفات القياسية IEC 186.

الاستخدامات	حدود الخطأ		المدى Range		الدرجة
	الاختلاف الوجهى (دقيقة)	نسبة ٪	نسبة الجهد	نسبة الحمل	Class
استخدامات معملية	5	0.1	80-120	25-100	0.1
أجهزة قياس دقيقة	10	0.2	80-120	25-100	0.2
أجهزة قياس تجارية	20	0.5	80-120	25-100	0.5
أجهزة قياس (صناعة)	40	10	80-120	25-100	1.0
أجهزة قياسات	—	3.0	80-120	25-100	3.0
أجهزة وقاية	120	3.0	5-V_f*)	25-100	3P
أجهزة وقاية	240	6.0	5-V_f*)	25-100	6P

جدول(٢-٥)

الاستخدامات	خطأ القدرة عند معامل قدره 0.6-1	المدى Range		الدرجة	المواصفة
		نسبة الجهد	نسبة الحمل	Class	القياسية
أجهزة قياسات الدخل	0.3	90-110	0-100	0.3	ANSI
الأجهزة القياسية	0.6	90-110	0-100	0.6	C57.13
أجهزة الوقاية	1.2	90-110	0-100	1.2	CSAC13

نسبة التحويل: $\frac{٢٢٠}{\sqrt{٣}}$ ك.ف / $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ف / $\frac{١٠٠}{٣}$

القدرة: ٦٠٠ ڤولت أمبير.

مقنن التيار لوقت طويل: ٩ أمبير.

تيار الحد الحرارى فى الملف الثانوى: ٨٥ أمبير.

محول التيار:

نسبة التحويل: ١:٢:٤ أى ٤ × ١٠٠ /٥/٥/٥/٥ أمبير.

شكل (٢٣ -٥) يوضح مقطع فى مجمع محولى تيار وجهد وفيه يتضح أن الاتصال الوحيد بين محول التيار ومحول الجهد عن طريق الخوصة النحاس، بينما لا يوجد أى اتصال داخل القاعدة. يتم تمثيل مجمع تيار وجهد بالطريقة العادية لتمثيل محول تيار ومحول جهد منفصلين كما فى شكل (٢٤ -٥).

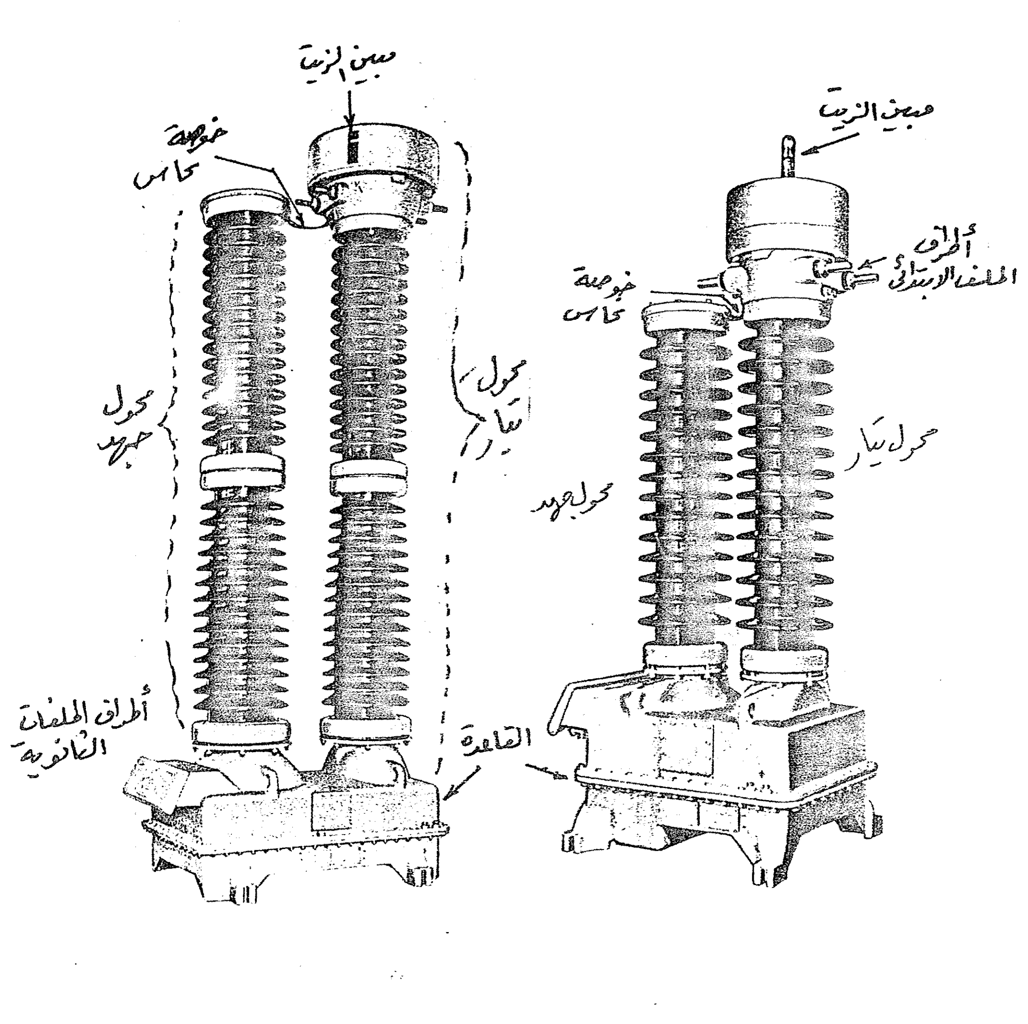
شكل (٢٥ -٥) يوضح طريقة توصيل أجهزة قياس، أمبير - واتمتير - وات ساعة - ڤولتمتر، على محولى تيار وجهد مركبين على شبكة تغذية جهد عالى.

شكل (٢٦ -٥) يوضح رسم تفصيلى لثلاثة محولات جهد مركبة على نظام ثلاثى الأوجه يحتوى كل محول جهد على ملفين ثانوين يمكن الحصول منهما على قيمة جهد الملف الثانوى أما ١٠٠ ڤولت أو ٢٠٠ ڤولت حسب توصيل الملفين توازى أو توالى. بيان كل محول جهد كالآتى:

نسبة التحويل $\frac{٦٦٠٠٠}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠ \times ٢}{\sqrt{٣}}$ / $\frac{١٠٠ \times ٢}{٣}$

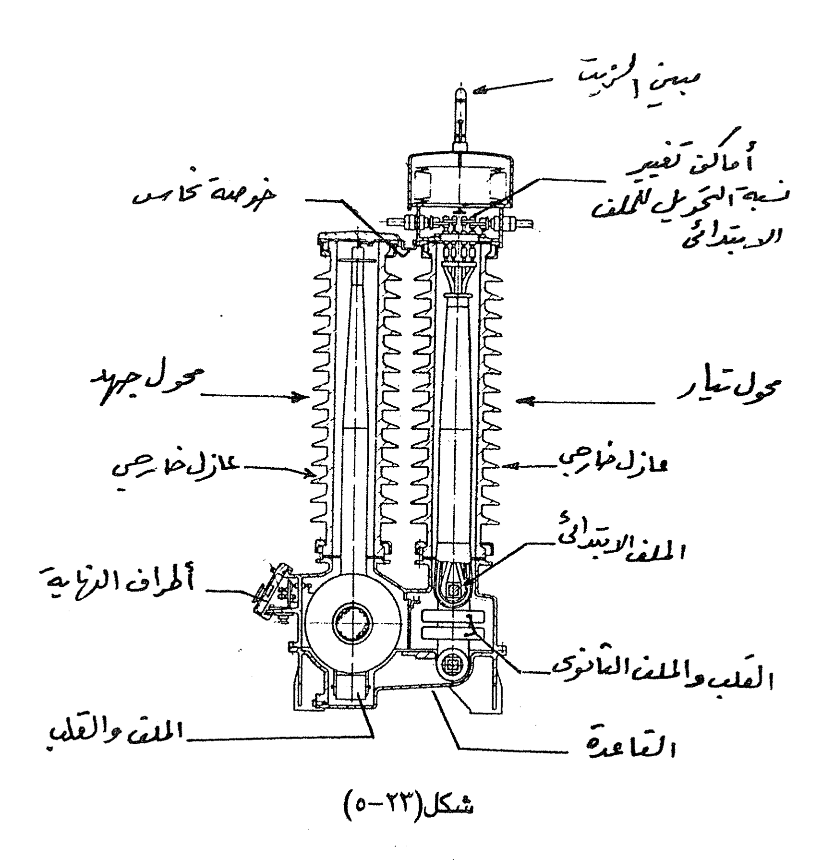
القدرة: ٣٠٠ ڤولت أمبير.

درجة الدقة: ٠,٥

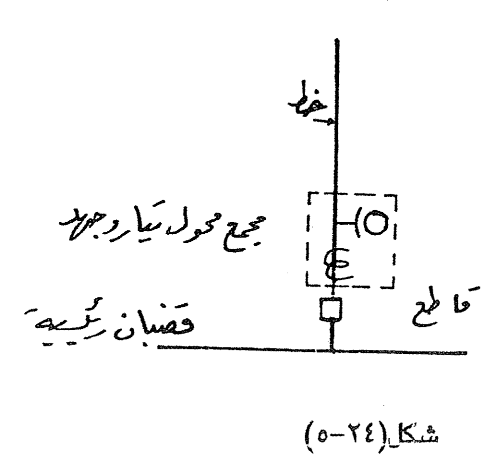


شكل(٢٢-٥)

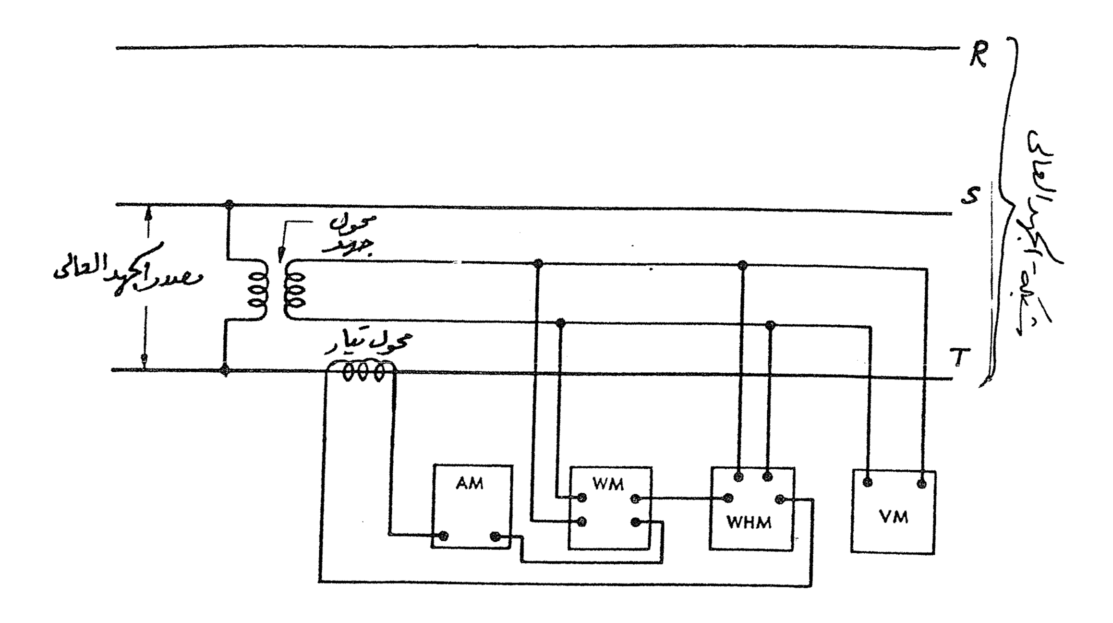
شكل(٢١-٥)



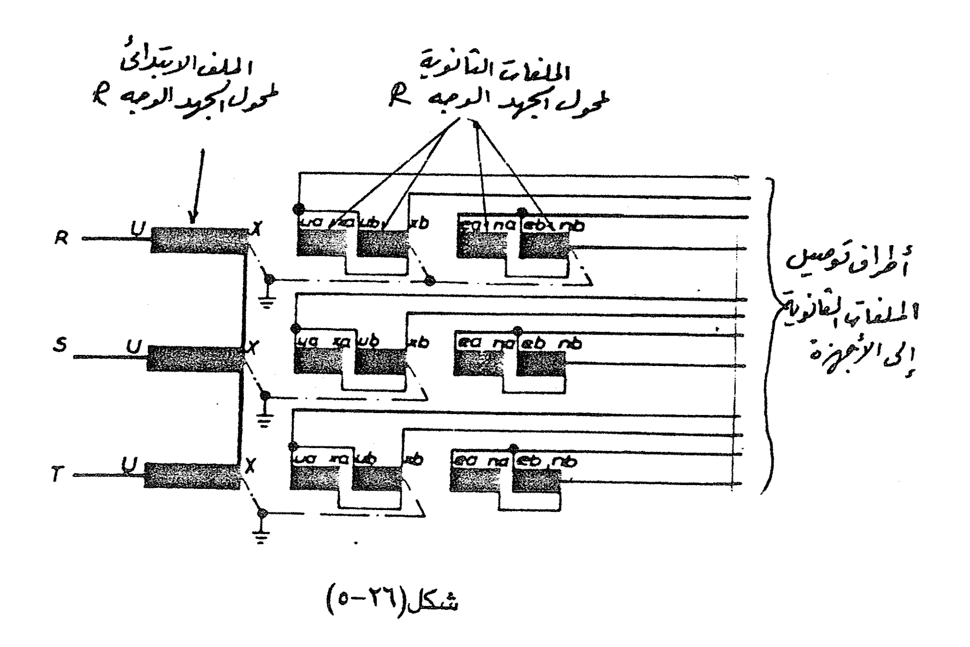
شكل(٢٣-٥)



شكل (٢٤-٥)



شكل(٢٥-٥)



شكل(٢٦-٥)

الجهود العابرة فى المحولات

Transient Voltage in Transformers

عادة تتكون ملفات الجهد العالى للمحول من مجموعة من المخدات (Coils) .تكون المخدات متساوية فى عدد اللفات (Turns)، ومرتبة على مسافات منتظمة، ثم يتم توصيل نهايات الملفات بلوح معدنى (Metal Plate)، هو الذى يتم توصيلة إلى خط الجهد العالى، الذى سيتم تغذية المحول به. ويكون حجم اللوح المعدنى مساويا لحجم مخدة كما فى شكل (١ -٦). أحيانا يحتاج الأمر إلى زيادة فى عزل لفات نهاية الملف، وهى التى سيتم توصيلها إلى الخط، وفى هذه الحالة يتم انقاص عدد لفات المخدات الطرفية، وزيادة فى عزلها كما فى شكل (٢ -٦).

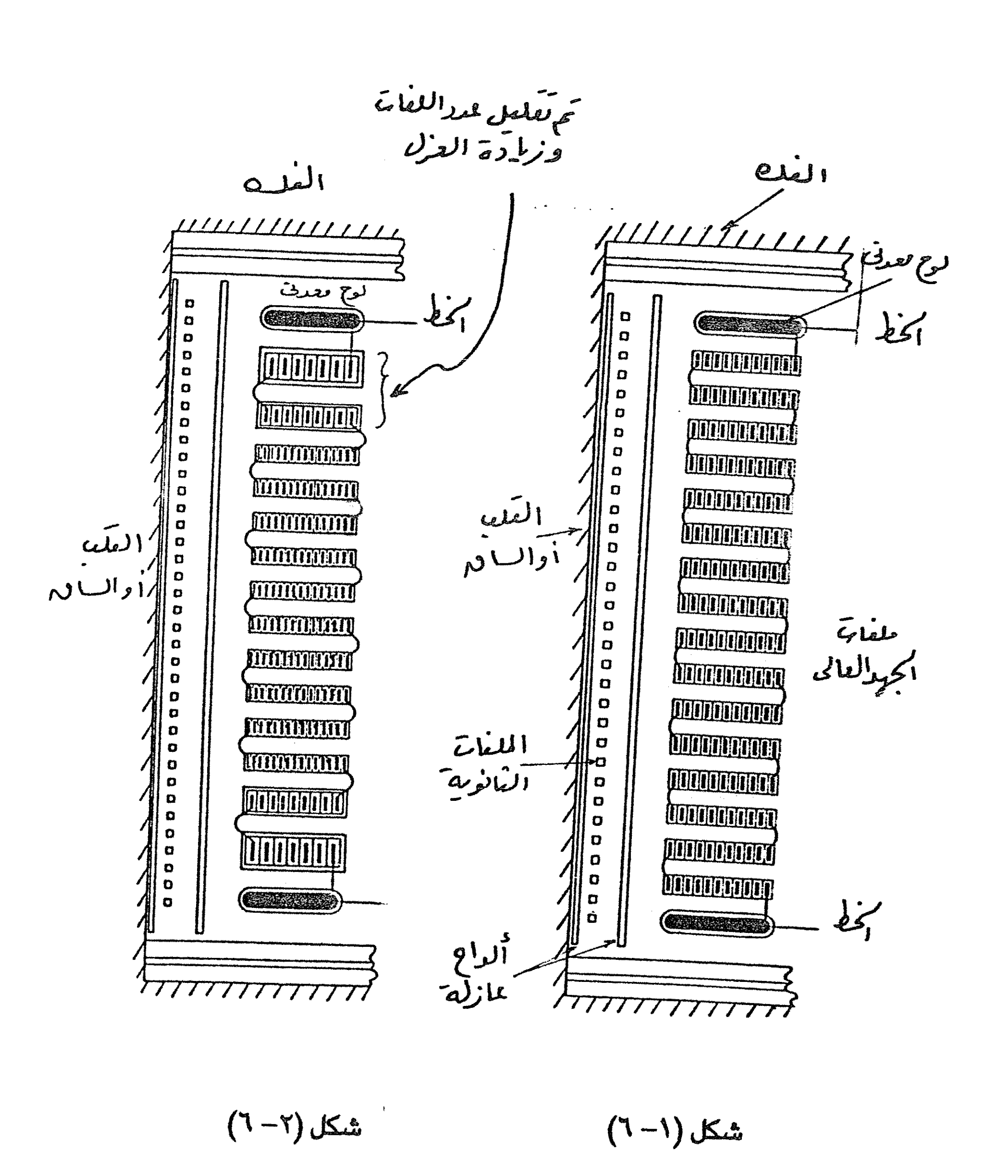
كما ذكر سابقا، توجد مادة عازلة على الموصلات، وبين اللفات وبعضها البعض، وبين المخدات وبعضها البعض، وكذلك بين الملفات الابتدائية والثانوية، وبين القلب والملفات. تمثل المادة العازلة كهربيا بمكثف، تعتمد قيمتة على سمك المادة العازلة.

فى شكل (١ -٦) تكون سعة المكثف بين المخدات وبعضها البعض متساوية، لكل المحول. وكذلك سعة المكثف بين ملفات الجهد العالى وملفات الجهد المنخفض، تكون متساوية، بالمثل تكون سعة المكثف بين ملفات الجهد العالى والفك (باعتباره مؤرضا) متساوية.

شكل (٢ -٦) يمثل نفس حالة الشكل (١ -٦)، ولكن سعة المكثف، للفات المقواة بعزل أضافى، تختلف عن سعة المكثف لباقى اللفات بالملف الابتدائى.

شكل (٣ -٦)أ يوضح طريقة توصيل المكثفات بين اللفات والطبقات، وبين الملفات، وكذلك بين الملفات والارض، وذلك لمحول أحادى الوجه من النوع ذى القلب. بينما شكل (٣ -٦) ب يوضح الدائرة المكافئة لشكل (٣ -٦)أ وهو ما يسمى بتوزيع الملفات والمكثفات بالمحول.

تتعرض المحولات، المغذاة من خطوط نقل القوى الكهربائية، لموجات من الجهود العابرة (Transient Voltages)، وتنشأ هذه الموجات عند توصيل القواطع الكهربائية، أو نتيجة دوائر القصر الحادثة على خطوط النقل أو بفعل العوامل الجوية، مثل حالات تفريغ البرق الكهربى. تنتقل هذه الموجات من خطوط النقل إلى أطراف المحولات، ثم تنتشر على ملفات الجهد العالى بها، ويمكن أن تكون هذه الموجات بقيمة كبيرة جداً، قد تصل إلى عدة مئات من المرات من قيمة الجهد المقنن، وتكون لها آثار سيئة على المحول.


تم تقليل عدد اللفات
وزيادة العزل
الخط
القلب أو السائل
الخط
لوح معدني
القلب أو السائل
ملفات الجهد العالي
الملفات الثانوية
الخط
ألواح عازلة

شكل (٢-٦)

شكل (١-٦)

تبعا لذلك فان ملف الجهد العالى فقط يتأثر بهذه الموجات، ولذلك نفرض أن الدائرة المكافئة لتوزيع المكثفات، كما فى شكل (٤ -٦)، حيث أهملت المكثفات بين الملف الثانوى والقلب (الأرض).

لفهم هذه الظاهرة يجب أن نعلم أن موجات الجهود العابرة تنتقل بسرعة الضوء، وتتكون من جزئين:

- واجهة شديدة الانحدار Steep Wave Front، تكون ذات معدل تغيير كبير جدا، ويكون زمنها حوالى ١٠ ميكروثانية.
- ظهر الموجه Wave Back، وتكون ذات معدل تغيير صغير وزمنها حوالى ٢٠٠ ميكرو ثانية.

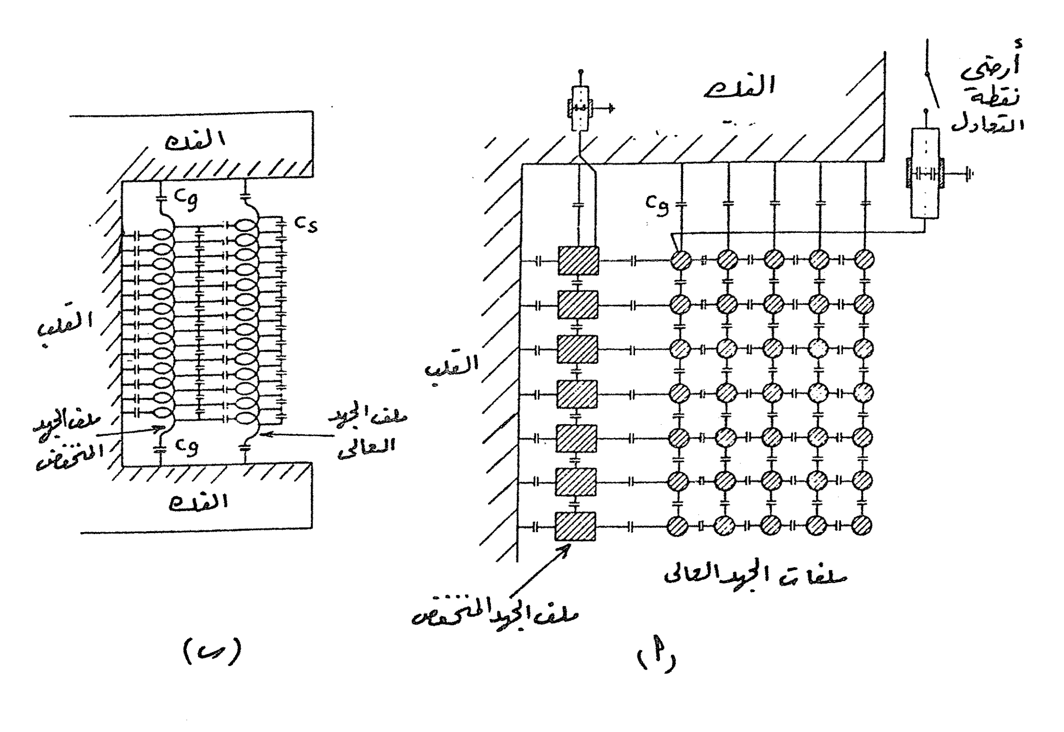
أى أنها موجات ذات ترددات عالية.

لفهم تأثير وتوزيع هذه الموجات على ملفات الجهد العالى للمحولات، يجب أولا معرفة تأثير الموجة على مكثف أو ملف أو الأثنين معـــا، حيث تم تمثيل ملفـات الجهد العالى كما فى شكل (٤ -٦) من تركيبة من المكثفات والملفات:

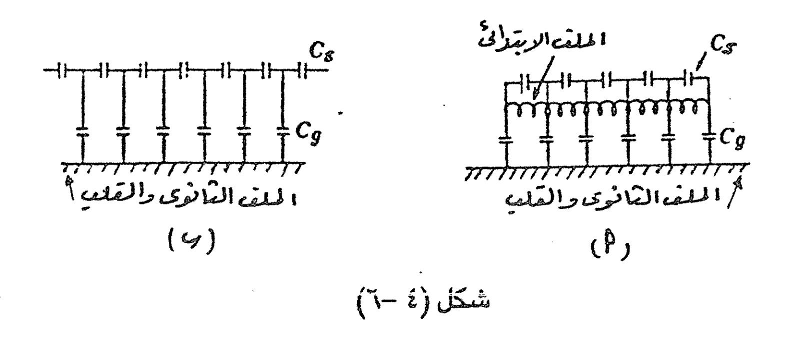
- عند تسليط جهد ثابت القيمة على دائرة مكونة من معاوقة سعوية ومقاومة حثية متصلتين على التوازى، فان التيار المار بالمعاوقة السعوية يتناسب مباشرة مع التردد، بينما التيار المار بالمعاوقة الحثية يتناسب عكسيا مع التردد، ويكون تردد التيار السعوى والتيار الحثى متساوين، وكل منهما يساوى تردد الرنين للدائرة. عند هذا التردد يتساوى التيار الحثى والتيار السعوى، ويكونان فى اتجاهين متضادين، ومحصلة الجمع الاتجاهى لهما تساوى صفرا، وتكون الدائرة فى هذه الحالة كدائرة مفتوحة. عند تردد أقل من تردد الرنين، يكون التيار المار بالمعاوقة الحثية أكبر من التيار المار بالمعاوقة السعوية.

  عند تردد أعلى من تردد الرنين، يكون التيار المار بالمعاوقة السعوية أكبر من التيار المار بالمعاوقة الحثية.

- عند تسليط جهد ثابت القيمة على دائرة مكونة من معاوقة سعوية ومعاوقة حثية، متصلين على التوالى، فان التيار المار بكل منهما يكون متساويا ويكون الجهد على أحداهما فى عكس أتجاه الجهد على الأخرى. اذا فرض ان التيار المار ثابت القيمة فان الجهد الناشىء على المعاوقة السعوية يتناسب عكسيا مع التردد، بينما الجهد الناشىء على المعاوقة الحثية يتناسب مباشرة مع التردد. ونحصل على تردد الرنين


الفلك
أرضى
نقطة
التعادل
القلب
c_g
c_s
ملف الجهد المنخفض
ملف الجهد العالى
ملفات الجهد العالى
(ب)
(أ)

شكل (٣-٦)


الملف الابتدائى
C_s
C_g
الملف الثانوى والقلب
(ب)
(أ)

شكل (٤-٦)

فى حالة تساوى الجهدين.
عند تردد أقل من تردد الرنين، فان الجهد الناشىء على المعاوقة السعوية يكون أكبر من الجهد الناشىء على المعاوقة الحثية، وتمثل الدائرة المكافئة بمكثف ويهمل وجود الملف. عند تردد أكبر من تردد الرنين فان الجهد الناشىء على المعاوقة الحاثية يكون أكبر من الجهد الناشىء على المعاوقة السعوية، وتمثل الدائرة المكافئة بملف ويهمل وجود المكثف.

- عند تسليط جهد على مكثف فقط، فان الجهد الناشىء على طرفى المكثف، يبدأ من الصفر بينما يعتمد التيار على خصائص الدائرة الموصلة مع المكثف، عند بداية الشحن يمر التيار بقيمته الكلية، أى أنه فى بداية التشغيل يكون المكثف كدائرة قصر وفى النهاية يكون كدائرة مفتوحة. عند اعتبار ملف فقط تكون الحالة بعكس المكثف.

شكل (٥ -٦) يوضح منحنيات التيار والجهد اثناء شحن (نمو الجهد على المكثف) وتفريغ (أضمحلال الجهد على المكثف)، المكثف، حيث تم تسليط مصدر يساوى ٣٥,٨ ك .ف (جهد مستمر)، ١١٤ أمبير خلال مقاومة R قيمتها ٣١٤ أوم ومكثف سعته تساوى ٢ × ١٠^-٨ فاراد، ويكون قيمة الجهد والتيار أثناء الشحن (عند تسليط الجهد) عبارة عن:

$$V_c = V(1-\varepsilon^{\frac{-t}{RC}})$$

$$I_c = I\varepsilon^{\frac{-t}{RC}}$$

حيث

V = جهد مصدر الشحن المستمر.

I = تيار الشحن الابتدائى ويساوى $\frac{V}{R}$

T = ثابت زمن الدائرة (Time Constant) ويساوى CR بينما فى حالة التفريغ (عند قصر المكثف بعد رفع جهد الشحن) تكون معادلتا الجهد والتيار هما:

$$V_c = V\varepsilon^{\frac{-t}{RC}}$$

$$I_c = -I\varepsilon^{\frac{-t}{RC}}$$

شكل (٦ -٦) يوضح منحنيات التيار والجهد أثناء نمو الجهد على الملف

واضمحلال الجهد فى الملف، حيث تم تسليط مصدر يساوى ٤٠ ك.ف (جهد مستمر)، ١١,٩٥ أمبير خلال مقاومة R قيمتها ٣٣٥٠ أوم وملف قيمته ٢,١ × ١٠^-٢ هنرى وتكون معادلتى الجهد والتيار أثناء نمو الجهد على الملف بعد تسليط الجهد

$$V_L = V\varepsilon^{\frac{-R}{L}t}$$

$$I_L = I(1-\varepsilon^{\frac{-R}{L}t})$$

حيث

V = جهد المصدر المستمر.

I = التيار الابتدائى عند تسليط الجهد ويساوى $\frac{V}{R}$

T = ثابت الزمن للدائرة ويساوى $\frac{L}{R}$

بينما فى حالة اضمحلال الجهد تكون معادلتا الجهد والتيار (بعد رفع الجهد المسلط وقصر الملف) هما:

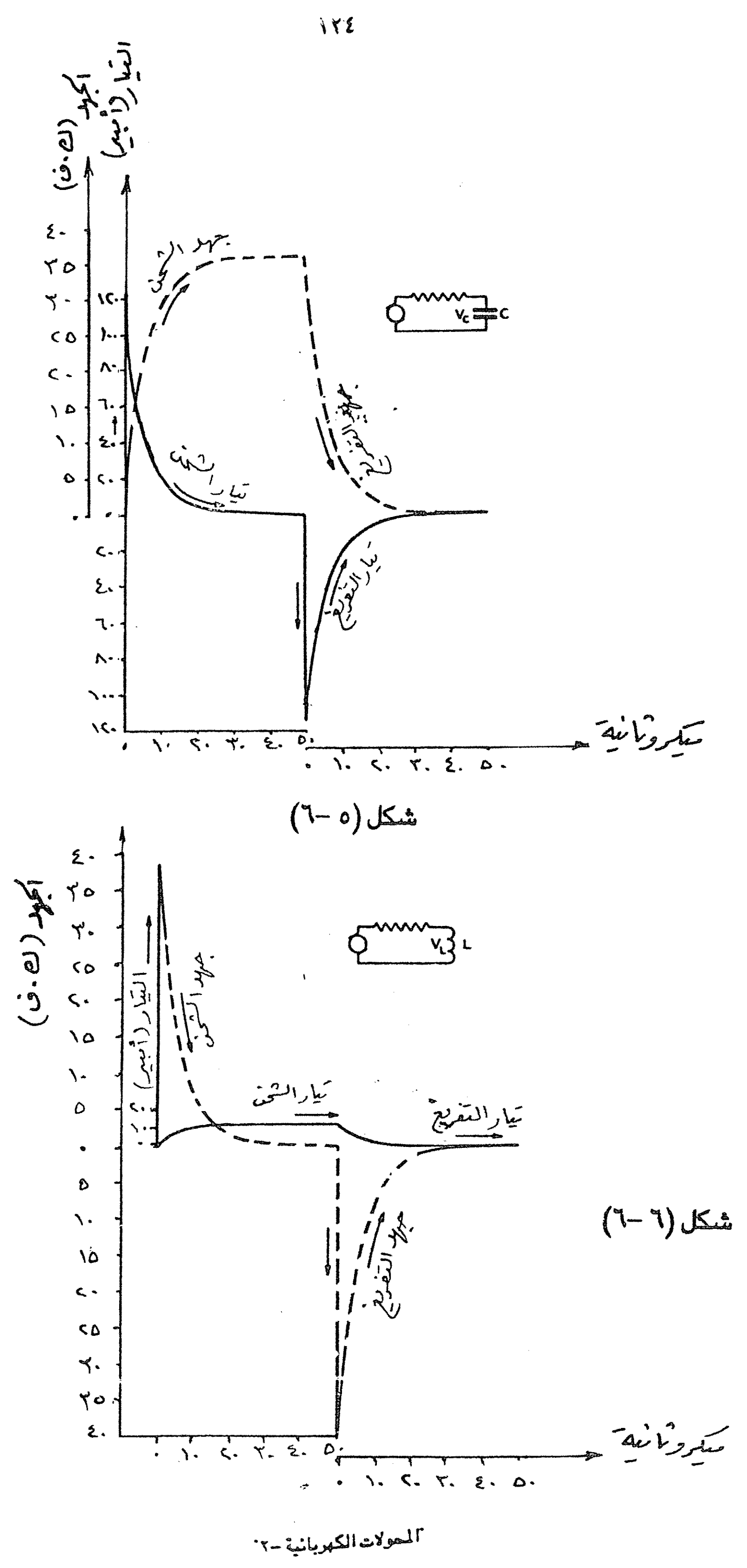
$$V_L = -V\varepsilon^{\frac{-R}{L}t}$$

$$I_L = I\varepsilon^{\frac{R}{L}t}$$

مما تقدم يتضح أن الدائرة المكونة من مكثف وملف على التوازى تكافىء دائرة قصر فى اللحظة الأولى لتأثير موجة الأثارة (Exciting Wave)، نتيجة تأثير المكثف فى الدائرة، وفى نهاية الموجة تكون الدائرة المكافئة أيضا دائرة قصر نتيجة تأثير الملف فى الدائرة – لذلك فانه خلال أية فترة زمنية بين بداية الموجة ونهايتها ينشأ جهد معين ثم يختفى، كنتيجة للتأثير بين الملف والمكثف، ولكن لا تصل قيمة هذا الجهد إلى القيمة التى تنشأ عن دائرة مفتوحة.

بينما اذا كانت الدائرة مكونةمن مكثف وملف على التوالى، فان الدائرة المكافئة تكون دائرة مفتوحة فى اللحظة الأولى للموجة، بسبب عدم مرور تيار لحظى فى الممانعة، وتكون أيضا كدائرة مفتوحة فى نهاية الموجه، بسبب عدم استمرارية التيار بالمكثف – خلال أى فترة زمنية بين بداية الموجة ونهايتها، يحدث تذبذب للجهد، بحد أقصى مساويا للجهد المسلط خلال عمل الملف، بينما يصل إلى ضعف الجهد المسلط خلال عمل المكثف.

بالرجوع إلى شكل (٣ –٦) والذى يمثل توزيع المكثفات داخل المحول والربط بين

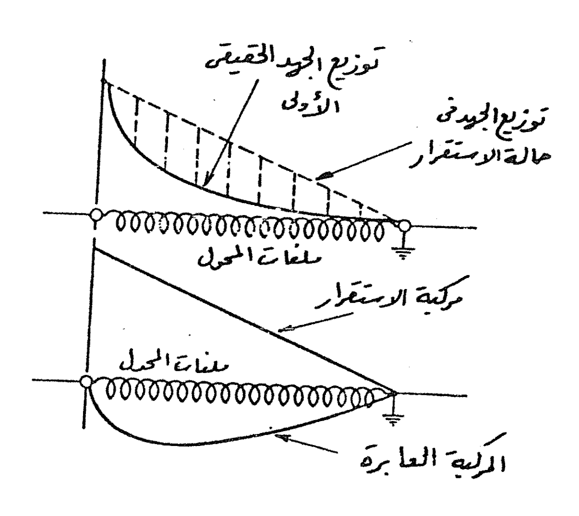


الجهد (ك.ف)
التيار (أمبير)
جهد الشحن
تيار الشحن
جهد التفريغ
تيار التفريغ
ميكروثانية

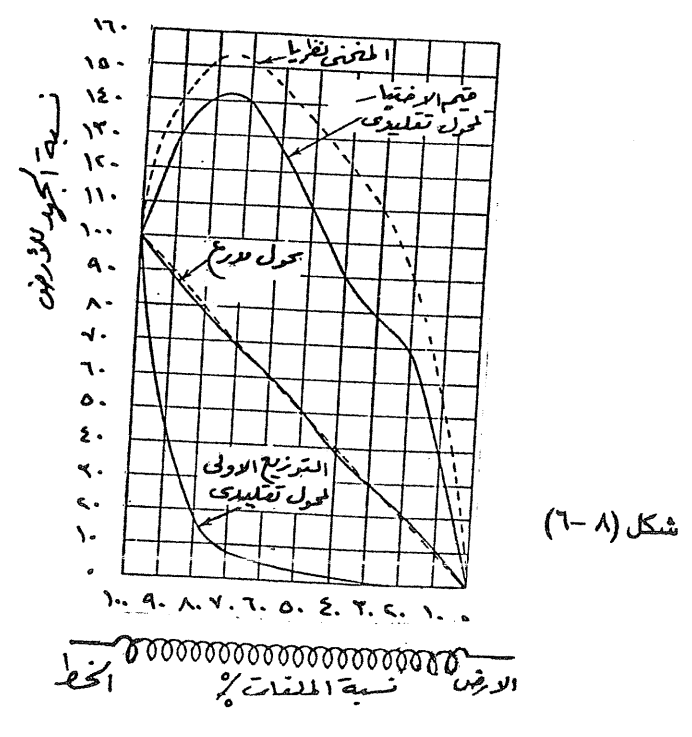
شكل (٥ – ٦)

الجهد (ك.ف)
التيار (أمبير)
جهد الشحن
تيار الشحن
تيار التفريغ
جهد التفريغ
ميكروثانية

شكل (٦ – ٦)


توزيع الجهد الحقيقى الأولى
توزيع الجهد فى حالة الاستقرار
ملفات المحول
مركبة الاستقرار
ملفات المحول
المركبة العابرة

شكل (٧ -٦)


١٦٠
١٥٠
١٤٠
١٣٠
١٢٠
١١٠
١٠٠
٩٠
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠
٠
المنحنى نظريا
قيم الاختبار لمحول تقليدى
محول مدرع
التوزيع الاولى لمحول تقليدى
١٠٠ ٩٠ ٨٠ ٧٠ ٦٠ ٥٠ ٤٠ ٣٠ ٢٠ ١٠ ٠
الخط
الارض
نسبة الملفات ٪

شكل (٨ -٦)

المكثفات وملف الجهد العالى، فانه يتضح أنه توجد تركيبات مختلفة مكونة من المكثفات والممانعات، بعضها على التوازى، وبعضها على التوالى، أو تركيبة تجمع بين التوالى والتوازى. والتى اذا تعرضت لموجات عابرة فانها تسبب رنين بالاضافة الى جهود داخلية زائدة عند النقط المختلفة على ملفات الجهد العالى، والتى بدورها تسبب ترددات مختلفة. تحدث الموجات العابرة. نتيجة تعرض خط نقل القوى الكهربائية، والمتصل مع ملفات الجهد العالى للمحول، لعمليات توصيل القواطع الكهربائية، تفريغ الصواعق، القوس الأرض ... تعتمد قيمة الاجهادات الناتجة على الملفات على: شكل وقيمة الموجات العابرة، قيم سعة المكثفات (أى سمك العازل المستخدم)، توزيع المكثفات معتمدا على أماكن المادة العازلة، فمثلا اذا كانت قيمة سعة المكثف عند نهاية اللفات منخفضة بالمقارنة بقيمة مكثف بين اللفات والأرض، فان الجهد المركز على نهاية الملفات (مع الخط) يكون شديدا جداً، وبالتالى تزيد مخاطر انهيارات العزل. بينما اذا كانت قيمة سعة هذا المكثف كبيرة نسبيا فإن المكثف يكون كدائرة قصر بالنسبة للموجات العابرة الأمامية، ويتوزع الجهد خلال عدد من اللفات. شكل (٧ -٦) يوضح توزيع الجهد علـى ملفات المحـول، فـى حالتـى الاستقرار (Steady State) والعابرة (Transients) . كذلك الجزء العلوى لشكل (٨ -٦)

يوضح قيم توزيع الجهود العابرة بمحول تقليدى، معمليا ونظريا.

لتجنب مخاطر الموجات العابرة على الملفات تستخدم أحدى الطريقتين الآتيتين أو كلاهما:

– استخدام الواح استاتيكية Static Plate

عبارة عن سطح موصل مستمر له نهايات دائرية، يتم وضعه بجوار نهاية الملفات، ويتم الاتصال بخط نقل القوى من خلاله. عادة يكون شكل اللوح وحجمه مثل شكل وحجم ملفات النهاية. تستخدم هذه الطريقة لتقليل تركيز الجهد الأولى الراجع الى واجهة الموجه، والتى تكون شديدة الانحدار (Steep Wave Front) وتكون ميزة السطح الكبير للوح، بالمقارنة بسطح لفة واحدة مثلا، أن التغيير فى التوزيعات الكهروستاتيكية تزيد عند مرور الموجة الأمامية. فى حالة عدم وجود ألواح فان تركيز الجهد، عند نهاية المخدة، يرتفع ليس فقط بين لفة ولفة ولكن أيضا بين أول مخدة والثانية. يجب زيادة الاهتمام عند استخدام ألواح استاتيكية أن أنه عند ظروف معينة، والتى يمكن أن تمثل فيها كمكثف على التوازى، فانها تسمح للموجات العابرة المرتفعة بالمرور الى الملفات الداخلية، وتتسبب فى انهيار العزل، اذا لم يكن

كافيا، بمعنى آخر اذا كان تصميم الألواح الاستاتيكية غير ملائم، فيمكن ببساطة أن يحدث ازاحة للنقطة التى يحدث عندها أقصى أجهاد (Maximum Stress)، أويحدث انهيار لنهاية الملفات فى اتجاه الداخل.

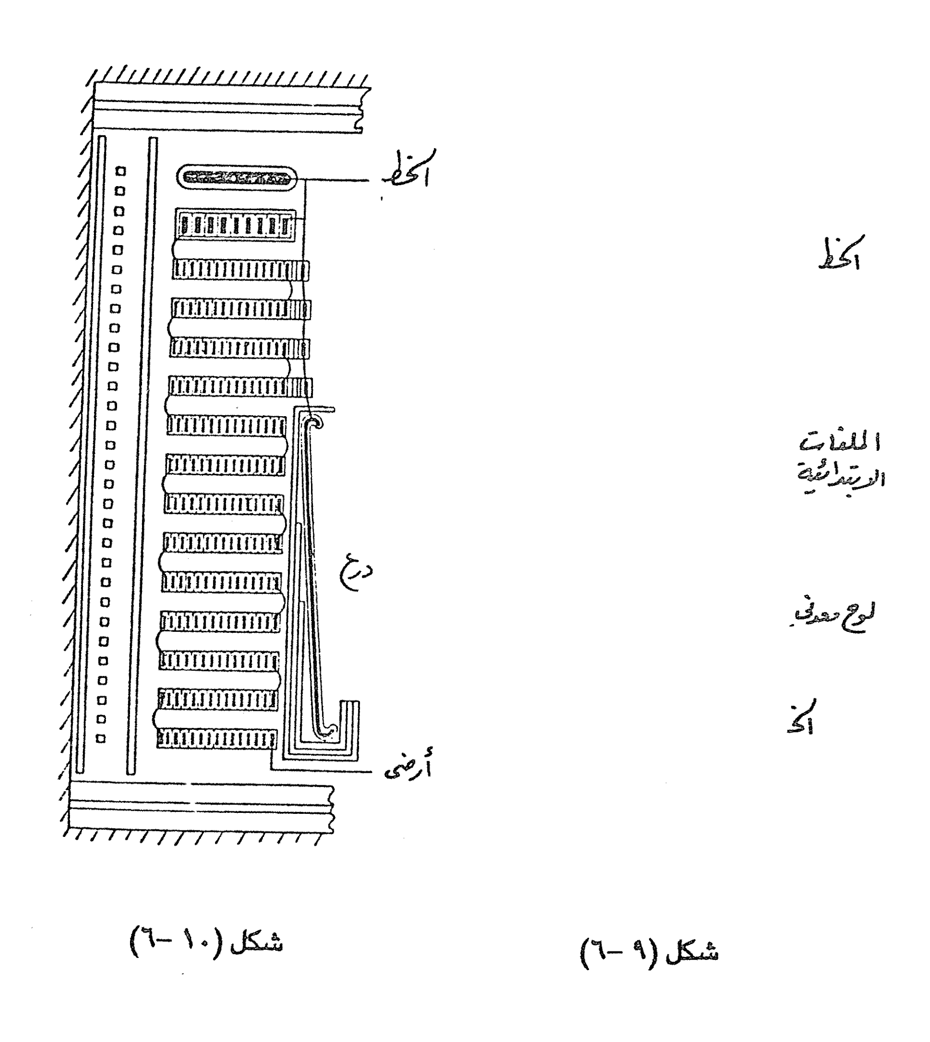
- استخدام التسليح Shielding

يستخدم درع معدنى (Metallic Shield) فى المحولات من النوع ذى القلب، والتى تستخدم ملفات أسطوانية، لتوزيع الجهد على طول ملف الجهد العالى، حيث تعمل سعة الدرع المعدنى مع الملفات على معادلة سعته مع الأرض أحدى طرق التسليح موضحة فى شكل (٩ -٦) - الملفات من نوع الاسطوانات المتمركزة (Concentric Cylinders) ، متصلة على التوالى، ويكون طرفا ملفات الجهد العالى أحدهما الى الداخل والأخرى من الخارج. تتصل أطراف الجهد العالى بالواح معدنية إسطوانية، بحيث تكون مركزية مع الملفات، وينتج عن ذلك أن تأثير مكثف الأرض مع الملفات يقل جداً، ويمكن أهماله، عند توزيع الجهد على الملفات، يؤخذ فى الاعتبار المكثفات بين الملفات وبعضها البعض، وبين لفات النهاية واللوح الاستاتيكى فقط.

هذا النوع من الدروع يناسب فقط الأسطح الكبيرة نسبيا للفات أول و نهاية الملفات، مثل حالة الملفات المركزية، بينما لا تستخدم اذا كانت أسطح الملفات صغيرة نسبيا مثل حالة الملفات المكونة من عدد كبير من الأقراص.

شكل (١٠ -٦) يوضح نوع آخر من الدروع يستخدم لحالة الملفات المبينة فى شكل (٢ -٦)، حيث تم تغليف الملفات بدرع معدنى متصل كهربيا بنهاية الملفات، مع الخط، ونهاية الملفات الأخرى تكون متصلة بالأرض. فى هذه الحالة يكون تيار الشحنة الكهروستاتيكية المار من الدرع الى ملفات الجهد العالى مساويا لتيار الشحنة الكهروستاتيكية المار من ملفات الجهد العالى الى ملفات الجهد المنخفض والقلب والخزان. يجب أن يكون الدرع معزولا عن الأرض والملفات.

شكل (٨ -٦) يوضح تأثير الدرع فى تقليل أجهادات الجهود غير العادية المؤثرة على ملفات المحول، وذلك لحالة محول غير مدرع، ولحالة محول مدرع، كما فى شكلى (٩ -٦)، (١٠ -٦) توضح المنحنيات أن الأجهادات بين لفة ولفة بنهاية الخط، وبين مخدة ومخدة تنخفض جداً عند أستخدام الدرع، وتكون نسبة الانخفاض حوالى ٢٠ :١.



شكل (٩ -٦)

شكل (١٠ -٦)

الأجهادات الميكانيكية فى المحولات

Mechanical Stresses In Transformers

عند تشغيل المحولات يمكن أن يمر بها أحد هذه التيارات:

١- تيار لاحمل مستقر Steady No Load Current

٢- تيار حمل عادى مستقر Steady Normal Load Current

٣- تيار لاحمل اندفاعى ناتج من عمليات التوصيل
In - rush Transient Switching No Load Current

٤- تيار دائرة قصر عابرة Transient Short Circuit Current

تعتبر الحالتين ٣، ٤ حالات غير عادية لتشغيل المحولات، وتؤثر تأثيرا خطيرا على ملفات المحولات. وأخطر هاتين الحالتين هى حالة تشغيل المحول فى وجود دائرة قصر، حيث ينتج عن مرور تيارات القصر إجهادات ميكانيكية هدامه تؤدى إلى تحرك الملفات فى اتجاهات محورية ونصف قطرية. حالات التحميل العادية تؤدى أيضا إلى اجهادات ميكانيكية، ولكن تكون اخطر ما يمكن كلما زاد التيار وفيما يلى توضيح ذلك.

عند مرور تيار بموصل يتولد مجال مغناطيسى، حول هذا الموصل، على شكل دوائر مركزها الموصل، كثافة المجال عند أى نقطة تتناسب مباشرة مع التيار المار بالموصل، بينما تتناسب عكسيا مع المسافة بين الموصل والنقطة، المقاس عندها كثافة المجال.

فى حالة مرور تيارات بنفس الاتجاه فى موصلين متوازيين متقاربين كما فى شكل (١-٧)أ، نتيجة مرور التيار I_1 يحدث فيض مغناطيسى يتجه إلى أسفل فى الحيز الموجود بين الموصلين، بينما يحدث فيض مغناطيسى فى الاتجاه المعاكس نتيجة مرور التيار I_2 . محصلة الفيض، وهو ما يعرف بالفيض المتسرب، تتسبب فى تجاذب الموصلين.

اذا كان التيار I_1 فى اتجاه مضاد للتيار I_2 فان الفيض الناتج عن التيارين I_1، I_2 يكون فى نفس الاتجاه، الى أسفل، كما فى شكل (١ -٧)ب، تكون محصلة الفيض، فى الحيز بين الموصلين، فى نفس الاتجاه، أى الى أسفل، تتسبب فى تنافر الموصلين.

فى كلا الحالتين فان قوة الجذب أو التنافر (F) تعتمد على العلاقة

$$F = KI_1 I_2$$

حيث K عامل تناسب.

عند تطبيق هذا على ملفات المحول، فى كل ملف يكون التيار المار فى كل اللفات فى نفس الاتجاه، ويكون التيار المار بـــالملف الثانوى I_2 (التيـــار التأثيرى Induced Current) فى اتجاه معاكس للتيار المار بالملف الابتدائى I_1، وعلى ذلك تخضع ملفات المحول لقوى جذب وتنافر.

شكل (٢ –٧) يوضح فيض التسرب (Leakage Flux)، فى الحيز بين الملفين، واتجاه التيارات I_1 ، I_2 بالملفات. محصلة فيض التسرب $Ø_{t1}$ ، $Ø_{t2}$ تتسبب فى تنافر الملفات. فى نفس الوقت، نتيجة مرور التيار فى اللفات فى نفس الاتجاه ينتج فيض يتسبب فى تجاذب اللفات. تكون النتيجة حدوث تنافر للملفات فى اتجاه نصف قطرى ومحورى (Radially And Axially).

فى شكل (٣ –٧) تنتج قوى تنافر نصف قطرية F_1 على اللفة رقم M بالملف الثانوى نتيجة مرور تيار فى اللفة m بالملف الابتدائى، المقابلة لها أفقيا. فى نفس الوقت كل اللفات فى الملف الابتدائى والتى تكون أعلى واسفل اللفة m تؤثر على اللفة M بقوى تنافر .... ، F_2 , F_3 محصلة هذه القوى هى FM تتجة الى أعلى بزاوية مع المحور الأفقى. بالمثل محصلة القوى المؤثرة على اللفة N هى FN تتجه الى أسفل بزاوية مع المحور الأفقى. نلاحظ ان اللفة A فقط، الواقعة بمنتصف الملف، لا تخضع لاى قوى محورية لان محصلة القوى المؤثرة عليها هى F_A فى أتجاه نصف قطرى. كذلك نلاحظ ان القوى فى الاتجاه نصف قطرى تكون اكبر عند منتصف اللفات وتقل فى اتجاه المحيط الخارجى، وبالعكس، القوى المحورية تقل عند منتصف اللفات، وتزيد فى اتجاه المحيط الخارجى.

فى حالات التشغيل العادى للمحولات، تهمل هذه القوى. أما فى حالة دوائر القصر تمر تيارات القصر بالملفات الابتدائية والثانوية، التى تصل قيمتها الى حوالى من ١٠ إلى ٢٠ مرة من قيمة التيار العادى المقنن (معتمدا على قيمة نسبة معاوقة المحول Z%) نتيجة ذلك أن تزيد القوى على الملفات من ١٠٠ إلى ٤٠٠ مرة من القيم العادية، أخطر هذه القوى هى القوى المحورية، وهى التى تتسبب فى تشوية تركيب الملفات – تزيد خطورة القوى المحورية على الملفات اذا كانت الملفات الابتدائية والثانوية غير متساوية فى الطول (الارتفاع)، كما فى شكل (٤ –٧). محصلة القوى الناتجة تحلل إلى مركبتين، مركبة أفقية، وهى قوة تنافر تعمل على تباعد الملفات، ومركبة رأسية تعمل على تحريك الملفات فى أتجاهين متضادين، تتسبب فى تشكيل الملفات. بشكل دائرى، لذلك اذا كانت ملفات المحول مصممة أصلا على شكل دائرى، فانها تكون أقل عرضة

التشوه عند التعرض لحالات القصر - وهذا يوضح فائدة استخدام القلب الدائرى (Circular Core Type) فى تصنيع المحولات.

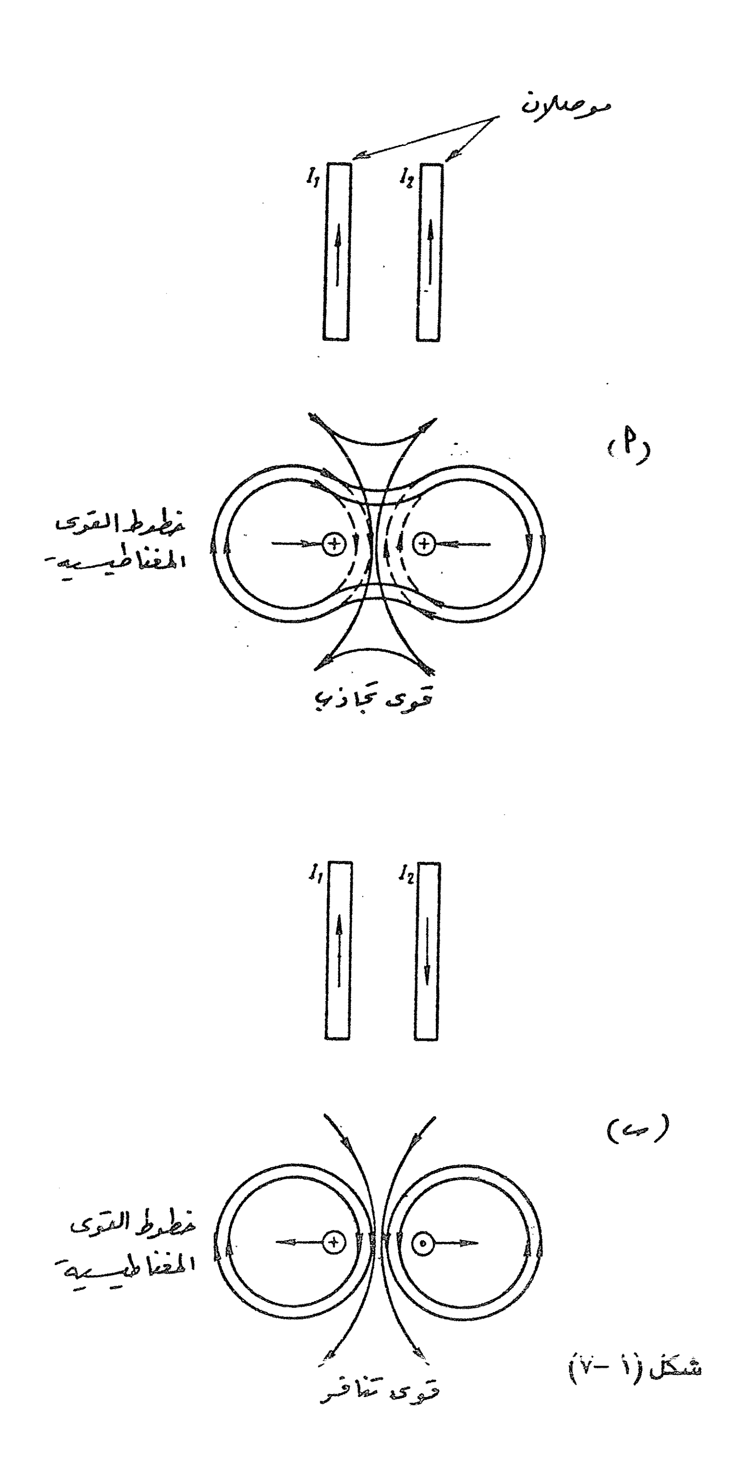
الاشكال (٥ -٧)، (٦ -٧)، (٧ -٧) توضح انواع مختلفة من الملفات والقوى الناتجة على اللفات اذا كانت الملفات منطبقة مركزيا (Coincident Electrical Centers) أو غير منطبقة مركزيا (Non - Coincident Centers)

شكل (٥ -٧) يوضح حالة ملفات على شكل سندوتش (Sandwich Windings) لمحول من النوع الهيكلى المستطيل (Rectangular Shell Type Tranformer) ولمحول من النوع ذى القلب الدائرى (Circular Core Type Transformer) حيث الشكل (أ) يمثل القوى الناتجة فى حالة الملفات المنطبقة مركزيا بينما شكل (ب) يمثل القوى الناتجة فى حالة الملفات غير المنطبقة مركزيا.

شكل (٦ -٧) يوضح حالة ملفات مركزية (Concentric Windings) لمحول من النوع ذى القلب المستطيل، والنوع ذى القلب الدائرى، شكل (أ) فى حالة الملفات منطبقة مركزيا وشكل (ب) فى حالة الملفات غير منطبقة مركزيا.

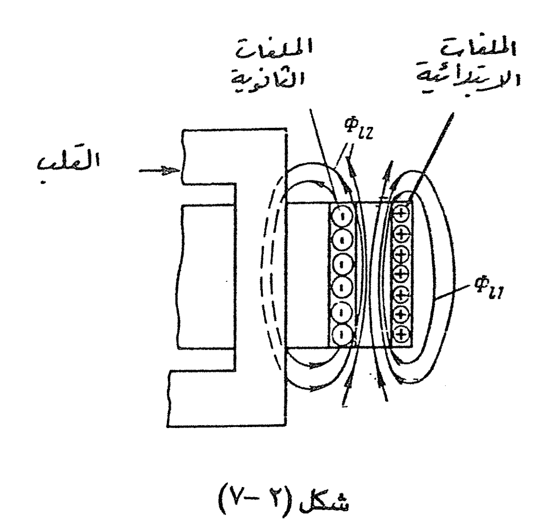
شكل (٧ -٧) أ يوضح حالة ملفات سندوتش، ولكن أطوال الملفين الابتدائى والثانوى مختلفة. مع كون الملفات منطبقة مركزيا.

شكل (٧ -٧) ب يوضح حالة ملفات مركزية، ولكن أطوال الملفين الابتدائى والثانوى مختلفة، مع كون الملفات منطبقة مركزيا.

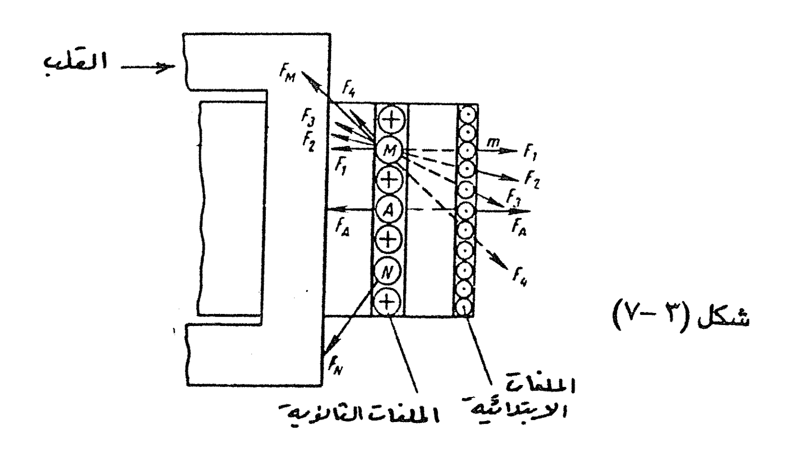


موصلان
I_1
I_2
(أ)
خطوط القوى المغناطيسية
قوى تجاذب
I_1
I_2
(ب)
خطوط القوى المغناطيسية
قوى تنافر

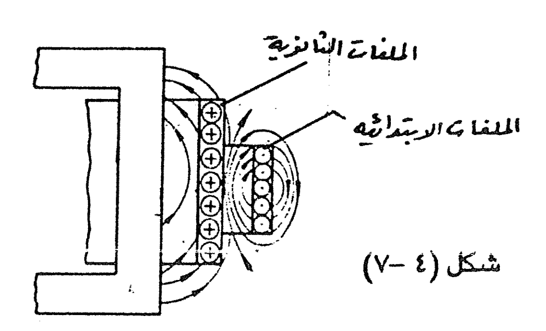
شكل (١ -٧)



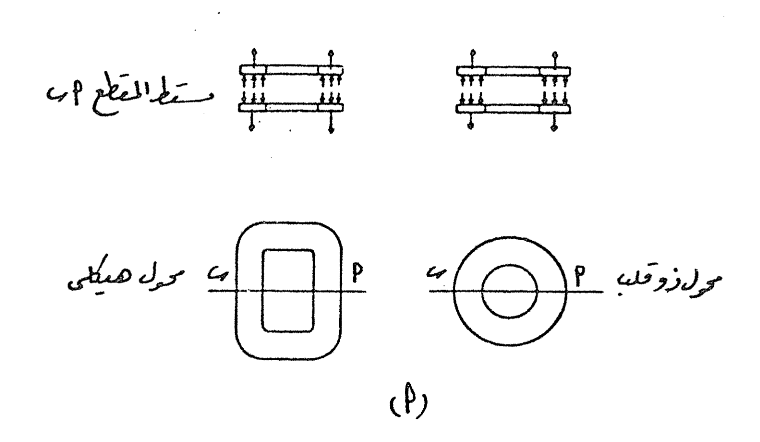
شكل (٢ -٧)



شكل (٣ -٧)



شكل (٤ -٧)



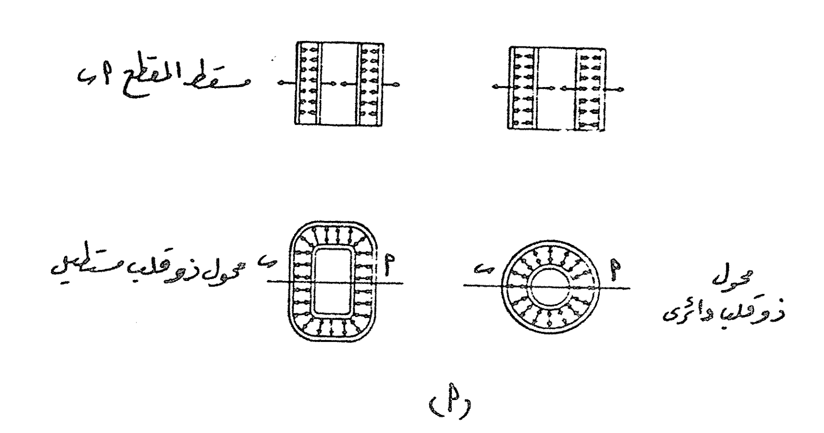
(أ)

مستوى المقطع أ ب

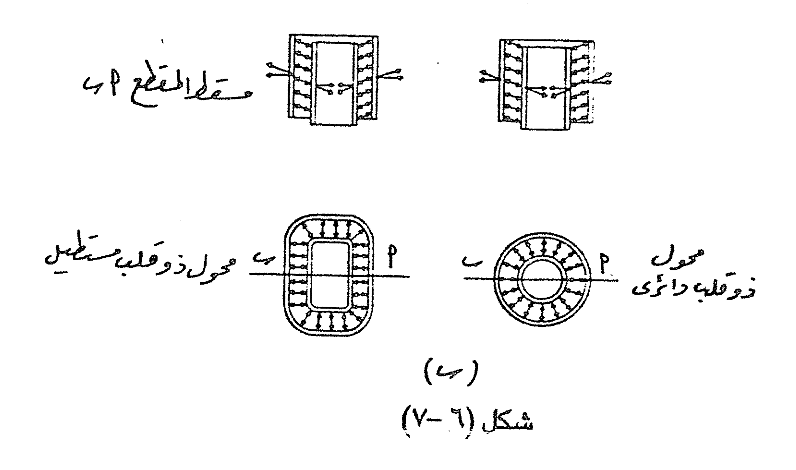
محول هيكلي ب أ ب أ محول ذو قلب

(ب)

شكل (٥ -٧)

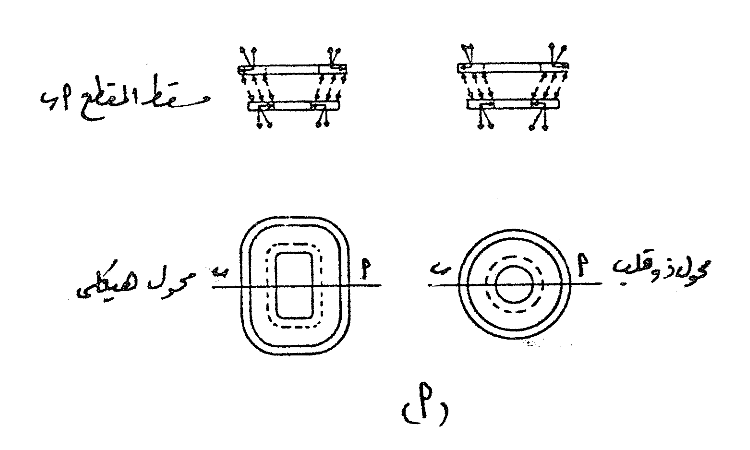

مسقط المقطع أب
محول ذو قلب مستطيل
ب
أ
ب
أ
محول
ذو قلب دائري

(أ)

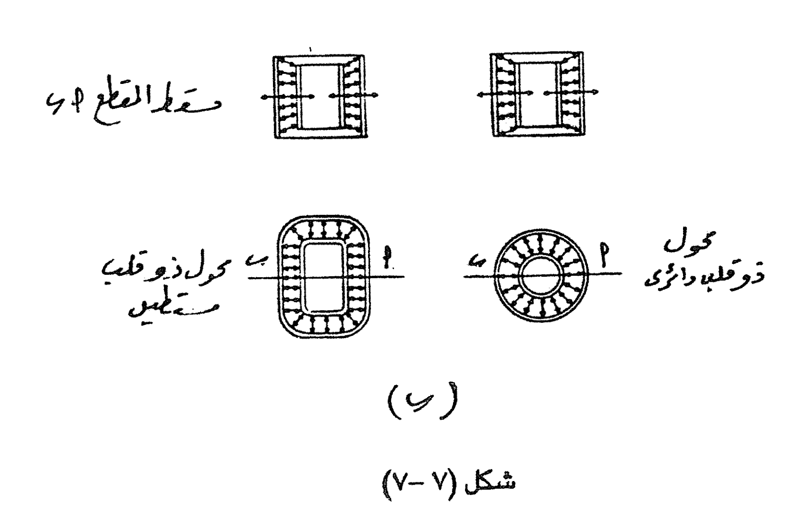

مسقط المقطع أب
محول ذو قلب مستطيل
ب
أ
ب
أ
محول
ذو قلب دائري

(ب)

شكل (٦-٧)


مسقط القطع أ ب
محول هيكلي
محول ذو قلب

(أ)


مسقط القطع أ ب
محول ذو قلب مستطيل
محول ذو قلب دائري

(ب)

شكل (٧ – ٧)

التيارات المندفعة أثناء عمليات التوصيل
Switching In Current Rushes

يلاحظ أنه عند توصيل المحول وهو فى حالة اللاحمل يمر تيار أولى مندفع، قيمته أكبر من تيار التحميل العادى، قد يظن أن بالمحول قصرا أو عطلا، ولكن بالتمعن فى الوضع، وبمعرفة خصائص القلب الحديدى، يتضح أنها حالة تيار فجائى، تعتمد القيمة الأولية له على عاملين هما: قيمة جهد المصدر الذى تم توصيل المحول إليه (باعتبار أن موجة الجهد جيبية قيمتها تتغير من الصفر الى أقصى قيمة موجبة ثم الى الصفر مرة أخرى، فالى أقصى قيمة سالبة ....)، وقيمة المغناطيسية المتبقية فى القلب الحديدى.

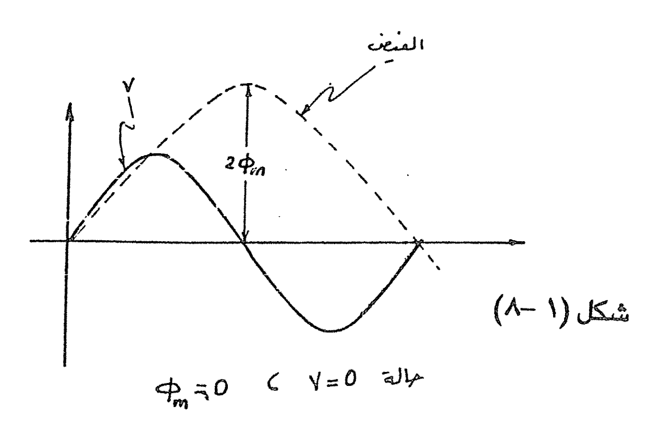
يوجد ٦ حالات يجب أن توخذ فى الاعتبار وهى:

١- التوصيل عند جهد يساوى الصفر ولاتوجد مغناطيسية متبقية فى القلب الحديدى.
٢- التوصيل عند جهد يساوى الصفر وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة سالبة لها.
٣- التوصيل عند جهد يساوى الصفر وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة موجبة لها.
٤- التوصيل عند أقصى جهد ولاتوجد مغناطيسية متبقية فى القلب.
٥- التوصيل عند أقصى جهد وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة سالبة لها.
٦- التوصيل عند أقصى جهد وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة موجبة لها.

فيما يلى توضيح لكل حالة:

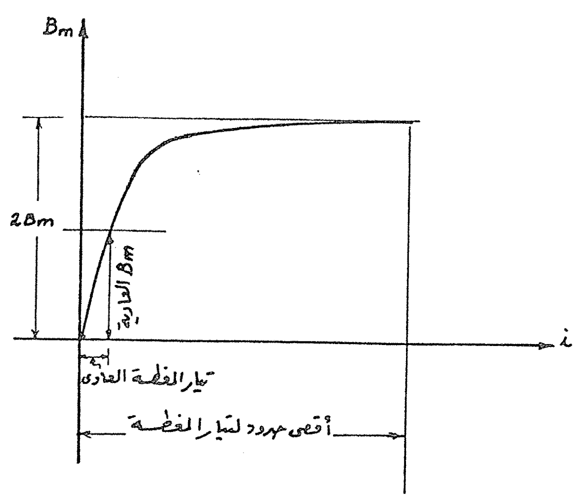
(١) التوصيل عند جهد يساوى الصفر ولاتوجد مغناطيسية متبقية

عند ظروف التشغيل العادية، تكون المغناطيسة المتبقية بالقلب تختلف بزاوية ٩٠ مع الجهد – ولكن فى حالة عدم وجود مغناطيسية متبقية بالقلب، وتم توصيل المحول، فان الفيض يبدأ من الصفر، للحفاظ على موجة نصف الدورة الأولى للجهد، فنجد أن كثافة الفيض تصل الى ضعف أقصى كثافة فيض عادية كما فى شكل (١ –٨)، وحيث أن قيمة تيار اللاحمل تعتمد على كثافة الفيض، فان التيار الفجائى يصل الى عدة مرات من قيمة التيار العادى فى حالة اللاحمل، الذى يمكن أن يتعدى تيار التحميل الكلى. وهذا يرجع الى خاصية منحنى B/H



شكل (١ -٨)

حالة V = 0 ، $\phi_m = 0$



شكل (٢ -٨)

فى المحولات ذات القلب الحديدى، الواضح فى شكل (٢ -٨)، والذى يتضح منه، أنه عند كثافة فيض ضعف القيمة العادية فان تيار اللاحمل يصبح كبيرا جداً.

(٢) التوصيل عند جهد يساوى الصفر وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة سالبة لها

حيث أن التوصيل فى هذه الحالة عند أقصى مغناطيسية متبقية سالبة، فانه بالمقارنة بالحالة (١) نجد أن – نظرياً – تصل قيمة الفيض الى ثلاثة أمثال القيمة القصوى العادية. عند هذه القيمة يكون التيار الاندفاعى كبيرا جداً، أكبر من الحالة (١)، ولكن تأخذ الموجه وقت أطول للوصول الى حالة الاستقرار. تقل أقصى كثافة فيض نتيجة انخفاض الجهد، خلال مقاومة الملفات وممانعة التسرب لها بالاضافة الى مفقودات الحديد والنحاس المصاحبة لهذه الظواهر، لذلك فان قيمة التيار الاندفاعى تنخفض.

(٣) التوصيل عند جهد يساوى الصفر وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة موجبة لها.

هذه الحالة عكس الحالة (٢) حيث تقل قيمة أقصى فيض أولى. وبالتالى تقل قيمة التيار الاندفاعى. اذا كانت قيمة المغناطيسة المتبقية مطابقة لاقصى قيمة كثافة فيض فانه لا يحدث تيار اندفاعى فى حالة اللاحمل. اذا كانت المغناطيسية المتبقية مطابقة لكثافة فيض أقل من أقصى قيمة فان موجة الفيض الأولى تكون غير متماثلة حول المحور الأفقى.

(٤) التوصيل عند أقصى جهد ولاتوجد مغناطيسية متبقية.

عند لحظة التوصيل يكون الفيض مساويا الصفر، نتيجة ازاحة زاوية 90° عن موجة الجهد، (كما فى شكل (٢ -٨) – هذا يعنى ان القوة الدافعة المغناطيسية E يجب أن تتواجد بالقيمة العظمى لها (بأشارة مخالفة) – وذلك لمعادلة جهد المصدر ، يبدأ الفيض فى الزيادة حتى يصل الى قيمة نهايته العظمى $\varnothing_m$ بعد ربع دورة. بمراجعة الشكل يلاحظ أن هذه الحالة مثل حالة الاستقرار – وتكون الأمور عادية، وبالتالى فان تيار اللاحمل لا يتعدى القيمة العادية لتيار الحمل ولا تحدث تيارات اندفاعية فى هذه الحالة.

(٥) التوصيل عند أقصى جهد وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة سالبة لها

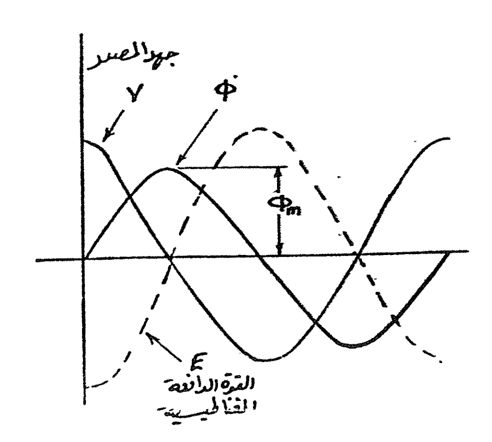
ينتج عن المغناطيسية المتبقية أن تحدث مركبات فجائية وتصبح موجة الفيض الأولية غير متماثلة حول المحور الأفقى (محـــور الصفر)، ويمـــكن ان تصل الى

أقصى قيمة للفيض الأولى، واذا كانت أقصى مغناطيسية متبقية مساوية لاقصى كثافة فيض عادية فان التيار الاندفاعى الناشىء ستكون له قيمة مساوية لضعف القيمة عند كثافة فيض عادى.

(٦) التوصيل عند أقصى جهد وتوجد مغناطيسية متبقية فى أقصى قيمة موجبة لها عكس الحالة (٥) تكون أيضا موجة الفيض الأولية غير متماثلة حول المحور الأفقى، ولكن موجات الفيض والتيار تكون فى الاتجاه المعاكس للمحور الأفقى.

نظريا يكون شكل موجة الفيض جيبية (Sine Wave) ولكن الشكل الحقيقى للفيض والتيار يعتمد على طريقة توصيل ملفات المحول ونوع الدائرة المغناطيسية للمحول. مثلا فى حالة محول ثلاثى الأوجه من النوع ذى القلب – التوصيلة الاتجاهية نجمة / نجمة فان موجة الفيض العادية تحتوى على توافقية ثالثة صغيرة تتسبب فى جعل قمة الموجة مسطحة (Flat Topped)، بينما يكون تيار اللاحمل على شكل موجة جيبية. وفى حالة محول أحد ملفاته موصلة "دلتا" فان موجة الفيض تكون جيبية عادية، بينما موجة تيار اللاحمل تحتوى على توافقية ثالثة.

يلاحظ أن المحولات التى تحتوى على فك (Yoke) من نوع التناكب (Butt) تكون المغناطيسية المتبقية فيها أقل من تلك التى تحتوى على فك من نوع التداخل (Interleaved) ويكون التيار الاندفاعى أقل فى حالة فك من نوع التناكب.



شكل (٣ –٨)

• التوافقيات فى المحولات
Harmonics In Transformers

لفهم معنى التوافقيات، فانه من المعلوم أن جهد مصدر التغذية، الذى يتم توصيلة على الملف الابتدائى للمحول، يكون متغيرا على شكل منحنى جيبى، بحيث ينتج فيض مغناطيسى، فى قلب المحول، يتغير أيضا على شكل منحنى جيبى، فاذا كان المنحنى الجيبيى يأخذ دورة كل 2π أى ٣٦٠°، أى كان التردد يساوى التردد الأساسى (٥٠ أ ٦٠ هرتز على حسب النظام المستخدم) فيطلق على هذا المنحنى الجيبيى أنه توافقية أساسية أى يخضع للتردد الأساسى للنظام، وتتكون الموجه الجيبية من جزئين: جزء يبدأ من الصفر إلى أقصى قيمة موجبة إلى الصفر مرة أخرى، وجزء يبدأ من الصفر إلى أقصى قيمة سالبة إلى الصفر مرة أخرى. ويكون زمن هذه الموجه يساوى مقلوب التردد، ففى حالة التردد الذى يساوى ٥٠ هرتز يكون زمن الدورة مساويا ٢٠ مللى ثانية. شكل (١ -٩)أ يوضح موجة جيبية أو توافقية أساسية، حيث تحتوى نصف فترة الدورة على الجزء الموجب فقط، أما اذا احتوى نصف فترة الدورة على موجة جيبية كاملة، عبارة عن جزئين، موجب وسالب لفترة زمنية تساوى نصف الفترة الأصلية للدورة، فان هذه الموجة الجديدة تسمى التوافقية الثانية، واذا أحتوت على ثلاثة أجزاء من الموجة فانها تعرف بالتوافقية الثالثة ... كما فى شكل (١ -٩) ب، حـ اذا تم جمع التوافقيات الأساسية والثانية والثالثة بالاشكال (١ -٩) أ، ب، حـ فاننا نحصل على موجة مشوهة، كما فى شكل (١ -٩) ء بمعنى أخر اذا وجدت موجة مشوهة فانه يمكن تحليلها إلى موجات جيبية ذات ترددات مختلفة، ويتم ذلك رياضيا بعمل تحليل "فورير" مضمون هذا التحليل أن تحلل الموجة المشوهة إلى توافقية أساسية + توافقيات من الدرجات الزوجية + توافقيات من الدرجات الفردية، والمقصود بالتوافقيات من الدرجات الزوجية أى التوافقية الثانية والرابعة والسادسة ... والمقصود بالتوافقيات من الدرجات الفردية أى التوافقية الثالثة والخامسة والسابعة ...

من المعروف أن نتيجة تغير النفاذية (Permeability) مع تغيير كثافة الفيض فى القلب الحديدى للمحول بالاضافة إلى شكل منحنى التخلف المغناطيسى (Hystersis Loop) والقوة الدافعة المغناطيسية (m m f) فان شكل موجة تيار المغطسة (Magnetising Current)، وهو اللازم لانتاج موجة جيبية للفيض فى الدائرة المغناطيسية، سوف يحتوى على توافقيات، بالاضافة إلى التوافقية الاساسية. وقد وجد أن شكل موجة تيار المغطسة يختلف عن شكل الموجة الجيبية. وكلما دخلنا فى منطقة

التشبع للقلب كلما ارتفعت قيمة النهاية العظمى لتيار المغطسة. شكل (٢-٩) يحتوى على موجات جيبية للفيض Ø، وللجهد الحثى (E)، بينما تيار المغطسة يأخذ شكلا مختلفا. بعمل تحليل "فورير" لمثل هذا التيار نجد أنه يحتوى على توافقية أساسية، وتوافقية ثالثة ذات قيمة كبيرة، وتوافقية خامسة يمكن أهمالها. تزداد قيمة اتساع كل من هذه التوافقيات، كنسبة من التوافقية الأساسية، كلما ازدادت قيمة كثافة خطوط القوى المغناطيسية فى القلب، بمعنى آخر كلما ازداد الدخول فى منطقة التشبع. تعتبر التوافقية الثالثة هى أكبر التوافقيات، ولذلك سنرى فيما بعد تأثيرها على بعض خواص المحول، عندما يكون كل من موجة جهد مصدر التغذية وموجة القوة الدافعة الكهربائية (e m f)، للملف الابتدائى، على شكل جيبى.

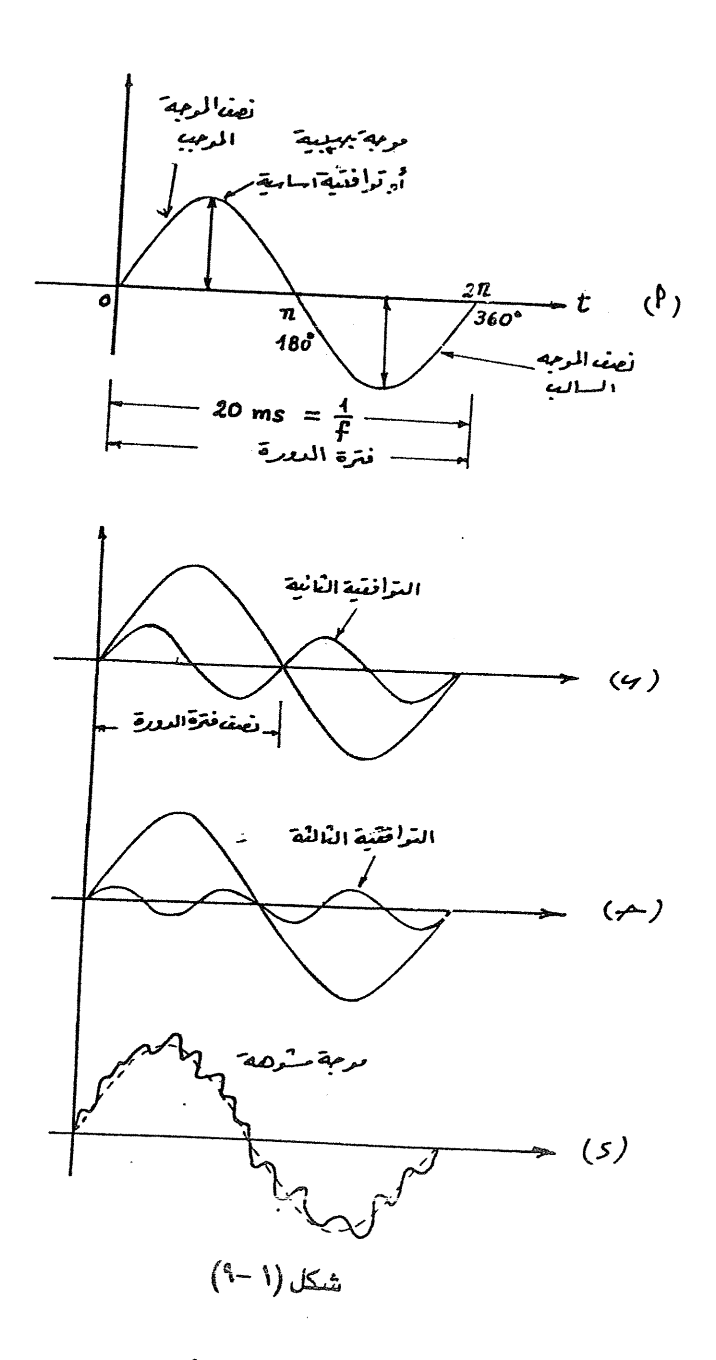
كذلك يجب معرفة أنه توجد حالتان للتوافقية الثالثة:

- أمـا أن تحتوى موجـة تيار المغطسة على توافقية ثالثة، وتكون موجة الفيض جيبية.
- أو لا تحتوى موجة تيار المغطسة على توافقية ثالثة، وتكون موجة الفيض محتوية على توافقية ثالثة. وبالتالى تكون موجة الجهد المتولد بالتأثير (Induced Voltage) محتوية أيضا على توافقية ثالثة.

لتوضيح متى يحدث فى المحولات توافقيات تيار، ومتى تحدث توافقيات جهد، يجب أن نناقش أولا توصيلات ملفات المحول، فى النظام ثلاثى الأوجه المتماثل.

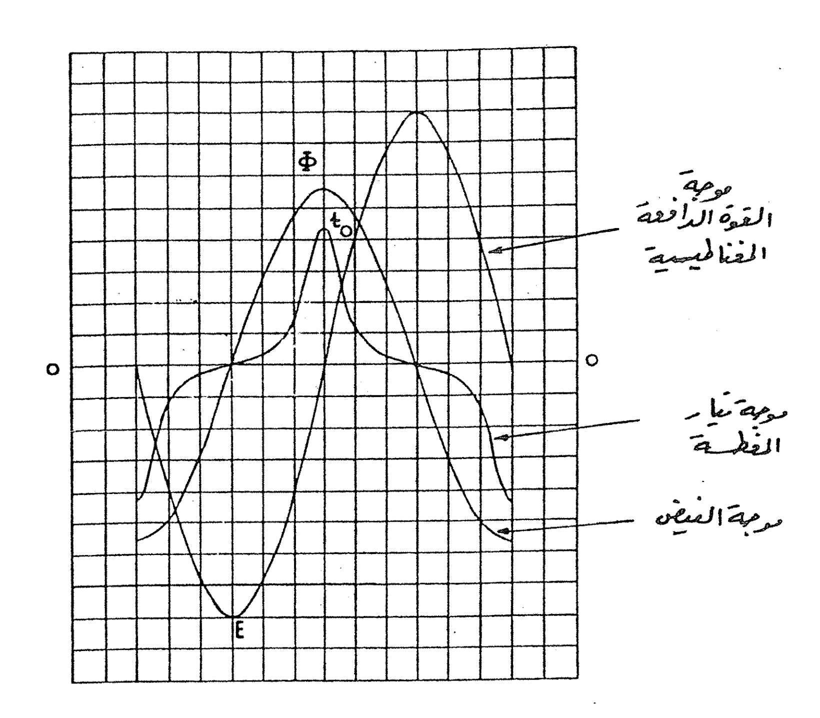
أ - فى حالة التوصيل نجمة (Y)

فى نظام ثلاثى الأوجه متماثل، وملفات المحول موصلة نجمة بدون خط تعادل، فان محصلة التيارات عند نقطة التعادل تساوى صفرا، وتكون الزاوية بين كل وجهين سواء للتيارات أو الجهود تساوى ١٢٠°. ويعرف النظام فى هذه الحالة بأنه متماثل أو متزن. نفس الحالة اذا كان أحد الأوجة يمر به تيار كبير يكون مساويا لمجموع التيارين فى الوجهين الآخرين، فيقال أيضا أن النظام متزن عند التردد الأساسى. عند تردد التوافقية الثالثة فان التيار المار فى أحـد الأوجه سوف يختلف بزاوية ٣ × ١٢٠ = ٣٦٠° عن التيار المار بالأوجه الأخرى والنتيجة أن التيارات للتوافقية الثالثة سوف تكون فى اتفاق مرحلى (in phase)، بالنسبة للأوجة الثلاثة. على ذلك فان محصلة هذه التيارات عند نقطة التعادل لا تساوى صفرا، ويجب أن تجد مسارا لا ستكمال دائرتها، وحيث أننا فرضنا أن توصيلة الملفات نجمة بدون خط تعادل، فلا يمكن أن تتواجد تيارات التوافقية الثالثة فى هذا الحالة.



نصف الموجة
الموجب
موجة جيبية
أو توافقية أساسية
0
π
180°
2π
360°
t
(أ)
نصف الموجه
السالب
20 ms = 1/f
فترة الدورة
التوافقية الثانية
(ب)
نصف فترة الدورة
التوافقية الثالثة
(جـ)
موجة مشوهة
(د)

شكل (١ -٩)


Φ
t_o
o
o
E
موجة
القوة الدافعة
المغناطيسية
موجة تيار
المغطة
موجة الفيض

شكل (٢ -٩)

بينما فى توصيلة نجمة تحتوى على خط تعادل، تجد تيارات التوافقية الثالثة مسارا لا ستكمال دائرتها - ولذلك يعرف خط التعادل بأنه عبارة عن مصرف (Drain) لتيارات التوافقية الثالثة، تحفظ أتزان التيار فى النظام، وعلى ذلك لا يوجد لها تاثير على التيارات عند التردد الاساسى، مما يجعله يصبح متزنا.

أما بالنسبة للتوافقية الثالثة للجهد، لملفات موصلة نجمة بدون خط تعادل، فانها تظهر بين كل وجه والأرض، فى أتفاق مرحلى، فلا تظهر بين الأوجه وبعضها (الجهد الخطى)، وتكون محصلة جهد التوافقية الثالثة بين نقطة التعادل (المعزولة) وبين الأرض، وعلى ذلك فإن جهد نقطة التعادل لا يساورى صفرا، ولكن يتغير حول المحور الأفقى (عند جهد = صفر) بتردد ثلاثى، وقيمة عظمى، هى جهد التوافقية الثالثة.

فى حالة ملفات موصلة نجمة وتحتوى على خط تعادل مؤرض، فان تيار التوافقية الثالثة يمر من الخط إلى الأرض إلى نقطة التعادل، وبالتالى يخمد جهد التوافقية الثالثة كلية، أو جزئيا عند نقطة التعادل.

ب- فى حالة التوصيل دلتا (d)

فى نظام ثلاثى الأوجة متزن توصيلة ملفاته دلتا، تكون محصلة الجهود عند التردد الأساسى تساوى صفرا، كذلك تنتج توافقية ثالثة للجهود تؤثر فى الدلتا المغلقة بين كل منهم ٣٦٠°، أى فى اتفاق مرحلى، وتصبح فى الدلتا، كما لو كان جهد وجة واحد لتردد التوافقية الثالثة يتسبب فى مرور تيارات التوافقية الثالثة داخل مسار الدلتا، وبالتالى لا تظهر جهود التوافقية الثالثة بين الخطوط الخارجة من الدلتا.

مما سبق تتضح النقاط الهامة الآتية:

١- فى حالة التوصيل نجمة لا تحتوى على خط تعادل:

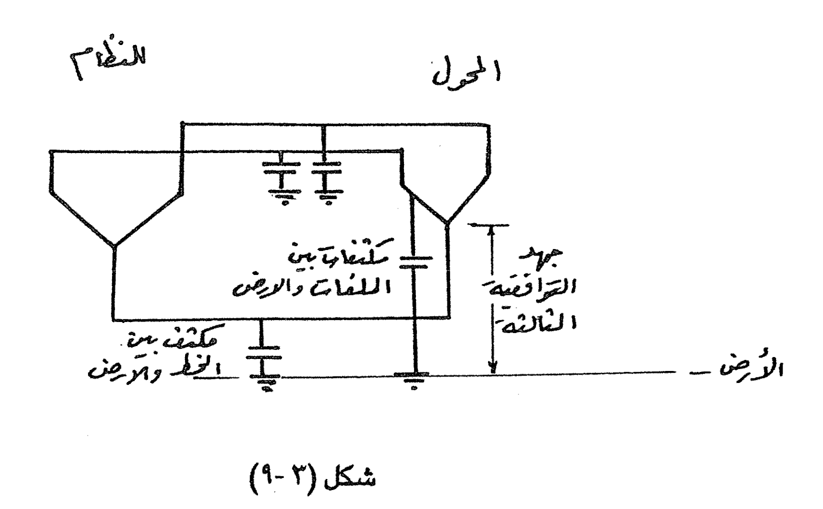
أ- تحدث التوافقية الثالثة للجهد بين نقطة التعادل والأرض، ولاتحدث بين الأوجة.

ب- لا يوجد توافقية ثالثة للتيار.

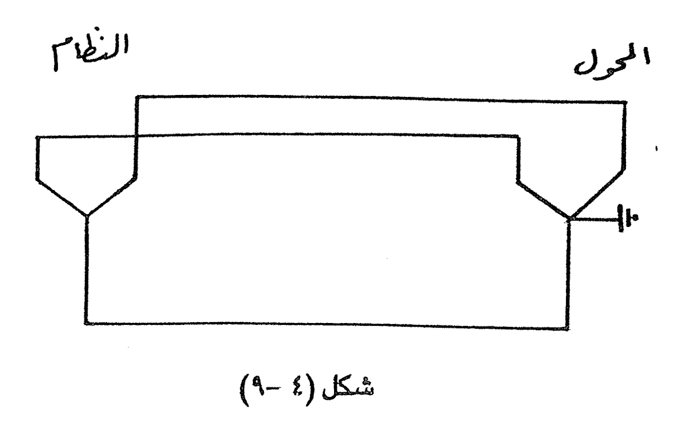
ينتج عن ذلك أن تكون موجة تيار المغطسة ذات شكل جيبيى، بينما لا يكون شكل موجة الفيض المغناطيسى جيبياً، فتكون مسطحة عند القمة، وتكون موجة القوة الدافعة الكهربية حادة عند القمة.

٢- فى حالة التوصيل نجمة تحتوى على خط تعادل:

أ- تخمد التوافقية الثالثة للجهود جزئيا أو كليا، بين نقطة التعادل


النظام
المحول
مكثفات بين
الملفات والأرض
جهد
التوافقية
الثالثة
مكثف بين
الخط والأرض
الأرض

شكل (٣-٩)


النظام
المحول

شكل (٤ -٩)

والأرض، أو بين الخطوط والأرض، تبعا لقيمة معاوقة دائرة التوافقية الثالثة.

ب- توجد تيارات التوافقية الثالثة، وتمر من الخط إلى الأرض إلى نقطة التعادل.

ينتج عن ذلك أن تكون موجة تيار المغطسة محتوية على توافقية ثالثة أى لاتكون على شكل جيبيى، بينما تكون موجة الفيض، وبالتالى القوة الدافعة الكهربية، على شكل جيبيى.

٣- فى حالة التوصيل دلتا

أ- تمر التوافقية الثالثة للتيار خلال الدلتا المغلقة ولا تظهر فى الخطوط.

ب- تظهر التوافقية الثالثة للجهود على أوجه الدلتا ولا تظهر فى الخطوط.

ينتج عن ذلك أن يكون منحنى كل من التيار والجهد جيبى الشكل، ويكون منحنى الفيض المغناطيسى أقرب ما يمكن إلى الشكل الجيبى.

مما سبق يتضح تأثير توصيلة ملفات المحول على التوافقية الثالثة، ولكن يوجد عامل آخر يؤثر على التوافقية الثالثة، وهو قيم سعة المكثفات المكافئة الخاصة بخط التغذية المتصل بالمحول.

وفيما يلى توضيح ذلك:

١- إذا كانت نقطتا التعادل للمحول والنظام معزولتين (شكل (٣-٩))

أ- إذا كانت سعة المكثف بين الخط والأرض أكبر كثيرا من سعة المكثف بين ملفات المحول والأرض، يظهر جهد التوافقية الثالثة بين نقطة تعادل المحول والأرض.

ب- فى حالة الخطوط القصيرة جدا تكون سعة المكثف بين الخط والأرض قريبة من قيمة سعة المكثف بين ملفات المحول والأرض، وفى هذه الحالة ينقسم جهد التوافقية الثالثة بالنسبة العكسية لقيم سعة المكثفات، على سبيل المثال إذا كانت سعة المكثف بين الخط والأرض ضعف سعة المكثفات بين ملفات المحول والأرض، فان ٦٦,٦٪ من جهد التوافقية الثالثة يظهر بين نقطة التعادل والأرض، بينما ٣٣,٣٪ فقط من جهد التوافقية الثالثة يظهر بين الخط والأرض.

٢- إذا كانت نقطة تعادل المحول مؤرضة، ونقطة تعادل النظام معزولة (شكل ٤-٩).

أ- عند أهمال سعة المكثف بين الخط والأرض، فان الجهد

الكلى للتوافقية الثالثة يظهر بين الخطوط والأرض، مسببا الارتفاع فى جهد الأوجة للمحول بقيمة جهد التوافقية الثالثة.

ب- إذا كانت سعة المكثف بين الخط والأرض محسوسة ولا يمكن اهمالها،فان جهد التوافقية الثالثة يؤثر فى الدائرة المكونة من ممانعة مكثف الخط مع الأرض، على التوالى، مع ممانعة الدائرة المفتوحة لجهد التوافقية الثالثة للمحول. يعتمد تيار التوافقية الثالثة المار فى هذه الدائرة على النسبة بين سعة مكثف الدائرة الى الممانعة المغناطيسية للمحول، وتوجد لذلك ثلاث حالات:

- عندما تكون الممانعة المغناطيسية أقل من الممانعة السعوية، فان قيمة جهد التوافقية الثالثة يرتفع عن القيمة المعتادة.
- اذا كانت الممانعة السعوية أقل من الممانعة الحثية، فان جهد التوافقية الثالثة يصبح كدائرة قصر بواسطة سعة مكثف الخط الى الأرض. ويمر تيار التوافقية الثالثة والذى يكون ذا قيمة مناسبة لجعل موجة جهد الاثارة على شكل جيبى.
- إذا كانت الممانعة السعوية والممانعة الحثية متساويتان - تنشأ حالة رنين - وهى تؤدى إلى أرتفاع قيمة جهد التوافقية الثالثة إلى درجة خطيرة جداً، حوالى ثلاثة أمثال قيمة جهد الوجة، وتصبح موجات الجهد والتيار مشوهة جداً، وترتفع قيمة أجهادات الجهد على الخطوط الى قيمة تسبب حدوث قوس على العوازل، وقد تتسبب فى انهيار الملفات.

١ -٩ طرق حذف التوافقية الثالثة للفيض

Methods of Eliminating Third Harmoinc Flux

يمكن التخلص من فيض التوافقية الثالثة وما يتبعه من نشوء جهد التوافقية الثالثة بأحدى الطرق الآتية:-

١- استخدام محولات ثلاثية الأوجه من النوع ذى القلب، حيث أن شكل القلب المغناطيسى يكافىء تأثير معاوقة عالية لملفات ملف ثانوى متصل دلتا.

٢- اذا كانت نقطة التعادل للمحول متصلة دائما بنقطة تعادل المولد، فانه يتم توصيل مقاومة صغيرة مصمته (Solid Low Resistance) خلال نقطة التعادل للمولد، فتقل جهود التوافقية الثالثة الى قيمة مهملة.

٣- المحولات المجهزة بملف ثالث موصل دلتا (Tertiary)، إذا كانت معاوقتة صغيرة يمكن أن نحصل على خصائص تشغيل أفضل من الحالتين ١، ٢ ويعمل المحول

كمحول موصل Yd.

٤- فى حالة محول ثلاثى الأوجه من النوع الهيكلى، أو ثلاثة محولات أحادية الوجه، عندما تكون الملفات موصلة Yy ونقطة التعادل معزولة، يحدث عند التشغيل، جهد يحتوى على ٥٠٪ توافقية ثالثة بين نقطة التعادل والأرض، وهى التى تضاف الى اجهادات عزل الملفات، ولذلك يجب أن يكون العزل كافيا، للتغلب على القيم الاضافية فى الأجهادات.

٥- فى حالة محول موصل Yy ومتصل بمحول Yd أو محول متعرج، له خط تعادل مؤرض. (لكى يسمح بمرور تيار التوافقية الثالثة)، يقل جهد التوافقية الثالثة بين نقطة التعادل والأرض الى قيمة صغيرة، ولكن يعترض على ذلك اذا تم فصل أى من المحول Yd أو المحول المتعرج.

٦- فى حالة محول ثلاثى الأوجه من النوع الهيكلى، أو ثلاثة محولات أحادية الوجه، عندما تكون الملفات موصلة Yy وتحتوى على نقطة تعادل مؤرضة. تعتبر هذه التوصيلة بالغة الخطورة، ويجب ألا تستخدم لاحتمالات حدوث الرنين بالنسبة للتوافقية الثالثة، الذى ينشأ من وجود مكثفات الخط.

٢-٩ مساوىء وجود التوافقيات فى المحولات

تنقسم مساوىء وجود التوافقيات إلى:-

مساوىء نتيجة وجود تيارات التوافقيات:

١- سخونة زائدة فى ملفات المحول.

٢- زيادة مفقودات الحديد.

٣- حدوث تداخل مغناطيس مع دوائر التليفونات.

مساوىء نتيجة وجود جهود التوافقيات:

٤- زيادة الإجهادات الكهربائية فى المواد العازلة.

٥- تكوين شحنة كهروستاتيكية تؤثر على الخطوط المجاورة وكابلات التليفونات.

٦- حدوث رنين عند التوافقية الثالثة بين معامل الحث الذاتى لملفات المحول وسعة خط التغذية

فيما يلى توضيح لكل حالة:

١- عمليا، نادرا ما تحدث سخونة زائدة فى ملفات المحول، وفى دوائر الحمل، نتيجة مرور تيارات التوافقية الثالثة، حيث أنه عند تصميم المحولات يؤخذ فى

الاعتبار أن تكون قيمة كثافة الفيض فى القلب مناسبة، بحيث لا تسبب زيادة فى مركبة التيار للتوافقية الثالثة فى حالة اللاحمل. عند تشغيل المحول عند جهد أعلى من الجهد المصمم عليه، فان الحرارة الزائدة الناشئة عن مفقودات القلب نتيجة ارتفاع كثافة الفيض تكون أخطر بكثير من الحرارة الزائدة فى ملفات المحول نتيجة مرور تيارات التوافقية الثالثة، سواء كانت توصيلة الملفات دلتا، أو نجمة بخط تعادل.

الحالة الوحيدة التى يكون فيها تأثير تيار التوافقية الثالثة خطيرا، اذا كانت الملفات الابتدائية للمحول متصلة نجمة متداخلة (Interconnected Star) وكانت نقطتا تعادل المحول والنظام، أو المولد، متصلتين معا.

٢- يحدث تداخل مغناطيسى لدوائر التليفونات، التى تكون متصلة على التوازى مع خطوط القوى الكهربائية، والتى يمر بها تيارات التوافقية الثالثة، فيؤثر ذلك تأثيرا غير مرغوب فيه.

وتكون معالجة ذلك أما باستخدام توصيلة دلتا للملفات، أو إلغاء سلك التعادل مع الأرض عند أحد طرفى الدائرة فقط، وبذلك يمنع مرور تيار التوافقية الثالثة.

٣- عند أستخدام ثلاثة محولات أحادية الوجه موصلة نجمة / نجمة - يتم توصيل سلك التعادل للملف الابتدائى بنقطة تعادل المولد أو النظام، فينتج عن مرور تيار التوافقية الثالثة حدوث زيادة فى مفقودات الحديد بالمحول، فتصل الى ١٢٠٪ من القيمة التى يمكن الحصول عليها اذا كانت نقطة التعادل معزولة، وهذه القيمة تتغير تبعا لتصميم المحولات ومعاوقة الدائرة الابتدائية. ويحدث هذا أيضا فى حالة المحول ثلاثى الأوجه من النوع الهيكلى.

عند ظروف معينة، تكبر مركبة التوافقية الثالثة لجهد الأوجه، عن طريق المكثفات بين الخطوط والأرض، اذا كانت المكثفات ذات قيمة أصغر من قيمة الممانعة، ويكون تيار التوافقية الثالثة متقدما على جهد التوافقية الثالثة بزاوية ٩٠°، وفى اتفاق مرحلى مع مركبة التوافقية الثالثة للفيض المغناطيسى فى قلب المحول، مما يؤدى الى تشبع قلب المحول الحديدى، وعندئذ نحصل على أكبر قيمة للجهود الناشئة بالتأثير (Induced Voltages)، والتى تتعدى قيمة الجهد المقنن، فترتفع قيمة مفقودات الحديد إلى ثلاثة أمثال مفقودات الحديد العادية للمحول، وقد يحدث الأنهيار

بالمحول.

٤- فى حالة المحولات الموصلة نجمة / نجمة بدون خط تعادل تصل قيمة التوافقية الثالثة للجهد بين نقطة التعادل والأرض إلى حوالى ٦٠٪ من القيمة الأساسية، ويكون ترددها ثلاثة أمثال التردد الأساسى. هذه القيمة تضيف إلى الاجهادات الكهربائية المؤثرة على ملفات المحول.

٥- فى حالة ثلاثة محولات أحادية الوجه متصلة نجمة، نقطة التعادل مؤرضة أو معزولة، تنتج شحنة كهروستاتيكية، عند تردد التوافقية الثالثة، تؤثر على كابلات القدرة والتليفونات المجاورة، تؤدى الى أنتاج جهدا تأثيرى (Induced Voltage) غير عادى مع الأرض، واذا كانت الدوائر المجاورة غير مؤرضة، يرتفع جهد الخطوط، مما يسبب حدوث أجهادات زائدة تعمل على تقصير عمر المعدات.

٦- فى الحالة السابقة تكون المخاطر أكبر، إذا حدث رنين نتيجة التوافقية الثالثة للتردد بين ملفات المحول مع المكثفات بين الخط والأرض.

٣-٩ الدائرة المكافئة لثلاثة محولات أحادية متصلة مع خط مفتوح عند نهايته:

شكل (٥- ٩) يوضح هذه الدائرة عند توصيل الملفات نجمة معزولة، حيث تكون قيمة سعة المكثف بين كل خط والأرض C_L،وقيمة سعة المكثف بين نقطة التعادل والأرض تساوى C_N، .

شكل (٦ - ٩) يوضح الدائرة المكافئة لمسار التوافقية الثالثة بين الأرض ونقطة التعادل من خلال المكثفات والمقاومات والممانعات، شكل (٦ - ٩) ب يمثل الدائرة المكافئة النهائية لمسار التوافقية الثالثة.

بالمثل شكل (٧ - ٩) يوضح الدائرة عند توصيل الملفات نجمة مؤرضة، وفى هذه الحالة يلغى المكثف C_N. شكل (٨-٩) يوضح الدائرة المكافئة فى هذه الحالة.

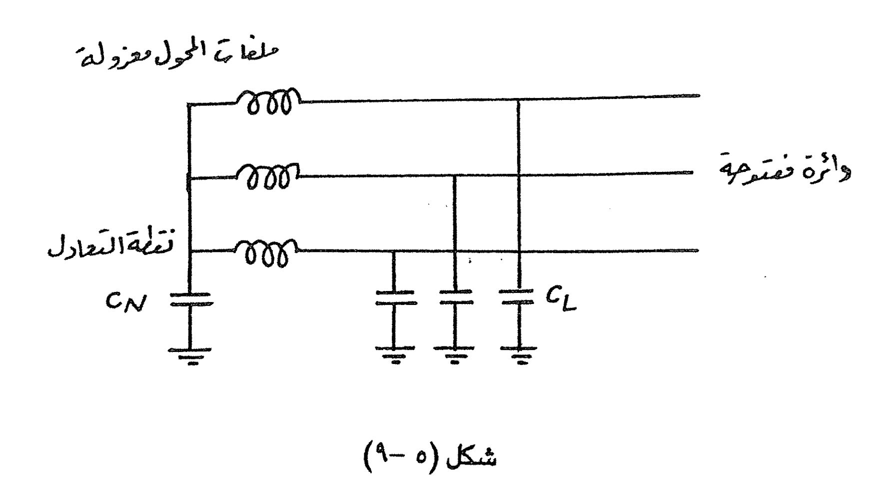
شكل (٩ -٩) يوضح شكل الموجات فى حالة ثلاث محولات أحادية الوجه موصلة نجمة/ نجمة، والملفات الثانوية مؤرضة - كما فى شكل (٧ -٩) وموصلة على دائرة مفتوحة. وفى هذه الحالة السعة C_L أكبر من الممانعة L_L

حيث شكل (٩ -٩) أ يمثل موجات الجهد المنتجة بالتأثير Induced Voltage

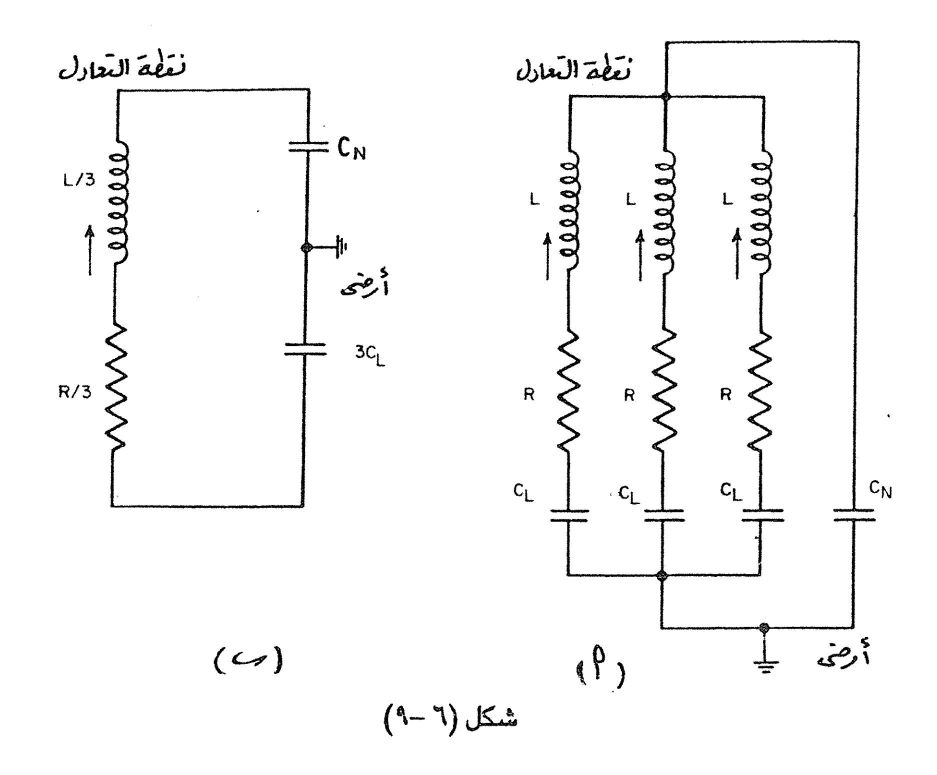
شكل (٩ -٩) ب موجات الفيض.

شكل (٩ -٩) حـ موجات تيار المغطسة.

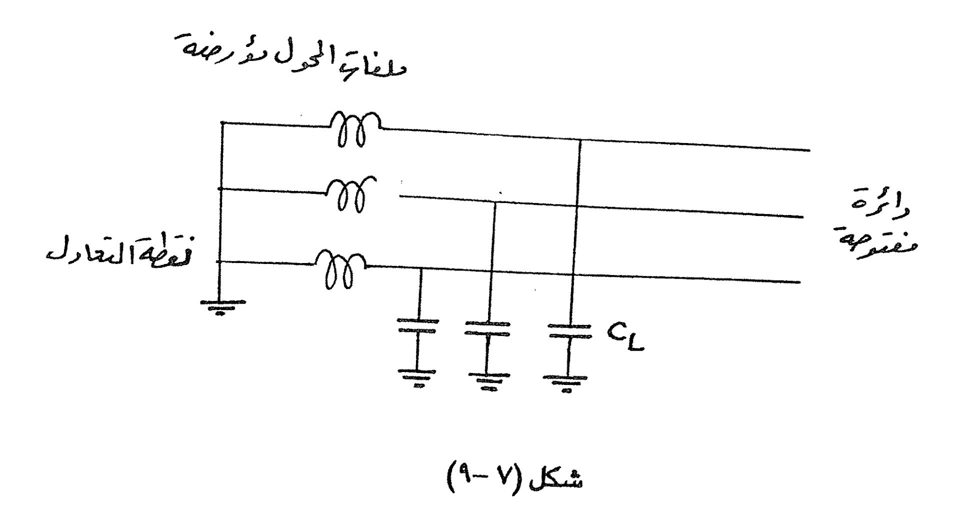
شكل (٩ -٩) ء تجميع لجميع الموجات السابقة.


ملفات المحول معزولة
دائرة مفتوحة
نقطة التعادل
C_N
C_L

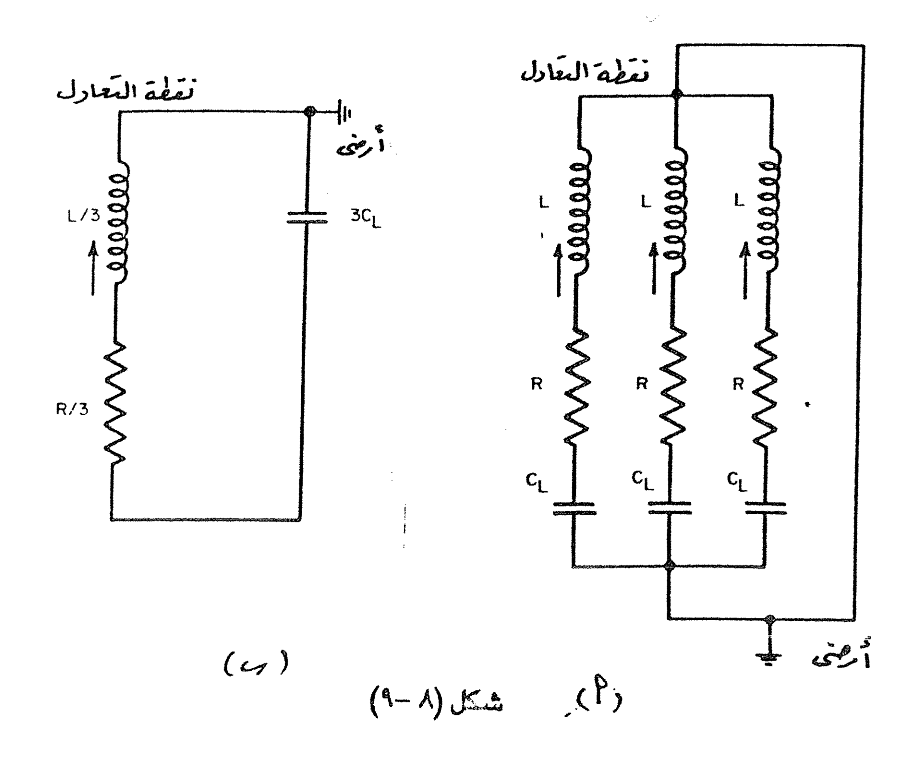
شكل (٥ -٩)


نقطة التعادل
L/3
R/3
C_N
أرضى
$3C_L$
(ب)
نقطة التعادل
L
L
L
R
R
R
C_L
C_L
C_L
C_N
أرضى
(أ)

شكل (٦ -٩)

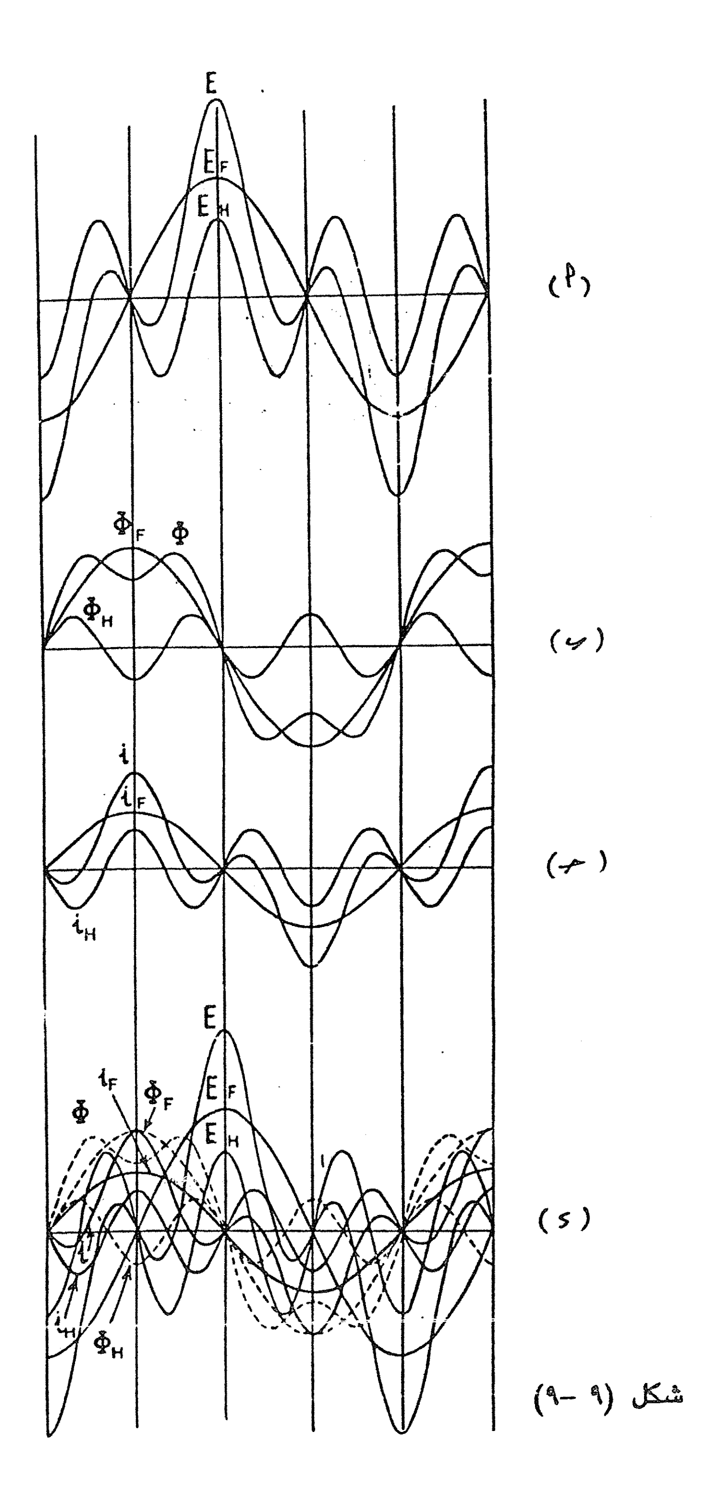


شكل (٧-٩)



(ب) (أ)

شكل (٨-٩)



شكل (٩ -٩)

حسابات تيارات القصر للمحولات

Short Circuit Current Calculation of Transformers

المقصود بحسابات تيارات القصر بأية شبكة كهربائية هو حساب قيم التيارات والجهود بالشبكة الكهربائية عند تعرضها لحالات قصر. تستخدم هذه القيم لغرضين أساسيين:

- عند أختيار (وضبط) أجهزة الوقاية اللازمة للشبكة الكهربائية، أو جزء من الشبكة، يجب أن تكون الأجهزة ذات حساسية لقيم تيار القصر (أى يجب ألا تكون قيمة ضبط جهاز الوقاية أكبر من قيمة تيار القصر، مما يجعل الجهاز لايحس وقت حدوث القصر).
- عند أختيار قواطع التيار (Circuit Breaker) اللازمة للشبكة الكهربائية، يجب أن تتحمل قيم تيارات القصر، أى يجب أن تكون سعة القطع (Interrupting Capacity) المصمم لها القاطع أكبر من أقصى تيار قصر يمر بالقاطع، وقت حدوث القصر.

يعرف تيار القصر ببساطة بأنه خارج قسمة جهد المصدر على قيمة المعاوقة (من مكان القصر وحتى مصدر التغذية). أى أن.

$$\text{تيار القصر بالأمبير} = I_{s.c} = V/Z \longrightarrow (1)$$

حيث

V = جهد المصدربالفولت

Z = قيمة المعاوقة الكلية للدائرة بالأوم

فى حالة شبكة كهربائية ثلاثية الأوجه يراعى أن يكون (V) هو جهد المصدر بين وجه والأرض. وتسمى الأعطال، بالشبكات الكهربائية ثلاثية الأوجه، بعدد الأوجه التى حدث عليها قصر، حيث يمكن أن يكون القصر بين الأوجه وبعضهـا أو بين الأوجـه والأرض (Ground or Earth) كالآتى:

أ- قصر بين الأوجه الثلاثة Three - Phase Fault

ب- قصر بين وجهين Phase - to - Phase Fault

حـ- قصر بين وجهين مع الأرض Phase - to - Phase - to Ground Fault

د- قصر وجه مع الأرض Single - Phase - to Ground Fault

هـ- حدوث نوعين من القصر فى نفس اللحظة فى موضعين مختلفين
Cross - Country Fault or Simultaneous Fault

أحيانا يتم تصنيف أنواع الأعطال كالآتى:-

١- أعطال متزنة أو متماثلة (Balanced or Symmetrical Faults)

وهى حالة قصر بين الأوجه الثلاثة. وسميت أعطال متزنة لأن تيار القصر يكون متساويا بالأوجه الثلاثة، ويشبه حالة التيارات المارة بالأوجه الثلاثة عند التحميل المتزن.

٢- أعطال غير متزنة أو غير متماثلة

(unbalanced or Unsymmetrical Faults)

وهى جميع الأعطال الأخرى فيما عدا حالة قصر بين الأوجه الثلاثة، وفى هذه الحالة لا يكون التيار متزنا بالأوجه الثلاثة خلال العطل. وتنقسم هذه الأعطال إلى:

- أعطال توازى Shunt Faults

أ- قصر بين وجهين

ب- قصر بين وجهين والأرض

حـ- قصر بين وجه والأرض

- أعطال توالى Series Faults

أ- فتح فى أحد الأوجه One Phase Open

ب- فتح فى وجهين Two Phase Open

وغالبا ما يعقب عطل التوالى عطل توازى فى نفس الموضع، حيث يلامس الوجه المفتوح الأرض مثلا.

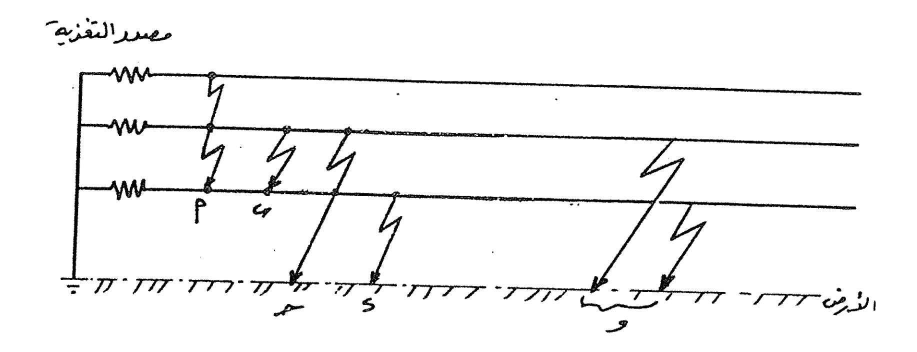
لتوضيح المعادلة رقم (١)، فقد تم تمثيل جزء من شبكة كهربائية فى شكل (٢ - ١٠)أ، عبارة عن مولد له معاوقة Z_G وموصل نجمة مؤرضة Y، محول معاوقته Z_T، خط معاوقته Z_L وحدث قصر عند النقطة F على الخط، ويراد معرفة قيمة تيار القصر.

أولا نرسم الدائرة المكافئة للمعاوقات من مكان مصدر التغذية (وهو النقطة N لنقطة التعادل) وحتى موضع القصر (F) كما فى شكل (٢ -١٠)ب، ثم يتم حساب المعاوقة الكلية كالآتى:

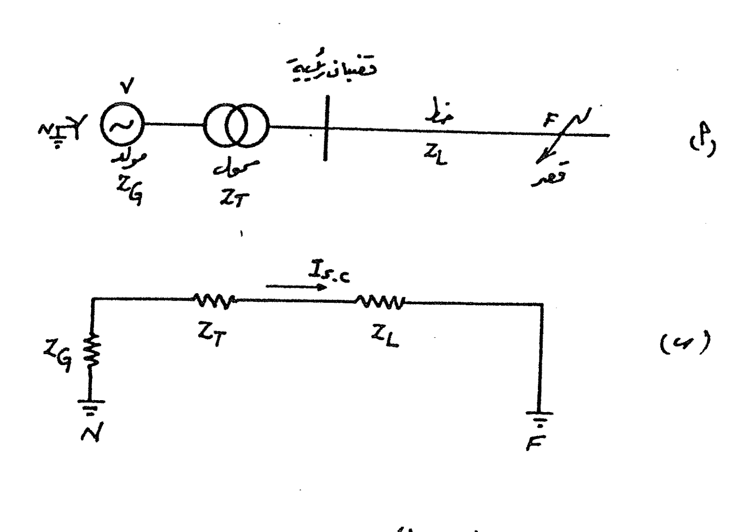
$$Z_t = Z_G + Z_T + Z_L$$

وتكون قيمة تيار القصر عبارة عن:

$$I_{SC} = \frac{V_{ph}}{Z_t}$$



شكل (١- ١٠)



شكل (٢- ١٠)

حيث V_{ph} هو جهد المصدر بين وجه وخط التعادل.

تعتمد قيم تيارات القصر على العوامل الآتية:

١- مكونات الشبكة الكهربائية: محولات - مولدات - خطوط هوائية - كابلات أرضية - ممانعات - مكثفات ..

٢- الشكل الهيكلي للشبكة الكهربائية هل هو حلقي (Ring) أو ممتد (Radial)

٣- حالة نقطة التعادل للشبكة الكهربائية - التي يمكن أن تكون أحد هذه الحالات.

- نقطة تعادل معزولة: أي أن ملفات المولد مثلا موصلة على شكل نجمة بدون خروج نقطة تعادل أو دلتا (Y or d)
- نقطة التعادل مؤرضة مباشرة مع الأرض أي أن الملفات موصلة نجمة مؤرضة Y⏚
- نقطة التعادل مؤرضة من خلال معاوقة: أي أن الملفات موصلة نجمة ونقطة التعادل مؤرضة مع الأرض من خلال معاوقة Y⏚.

٤- قيمة مقاومة العطل Fault Resistance وهي المقاومة بين مكان العطل والأرض ويرمز لها R_F ويمكن أن تكون:

أ- العطل تلامس مباشرة مع الأرض، أي أن R_F تساوي صفراً.

ب- العطل تلامس مع الأرض من خلال مقاومة العطل R_F وتنقسم هذه المقاومة الى: مقاومة القـــوس (Arc Resistance)، ومقاومـــة الأرض (Ground Resistance)

شكل (٣-١٠) يوضح هاتين الحالتين.

٥- نوع العطل (كما في شكل (١-١٠))

لتسهيل عمليات حسابات تيارات القصر تؤخذ هذه الفروض في الأعتبار:

- إهمـــال قيمة المقاومة، في حالة صغرهـا بالنسبة لقيمـــة المـــانعة الحثية (Resistance << Inductive Reactance)
- إهمال قيمة المانعة السعوية (Capacitive Reactance)
- أن تعتبر قيمة ممانعة الآلات ثابتة.
- أن تعتبر قيمة جهد التوليد ثابتة.
- إهمال تأثير حالة التشبع.

وكما ذكرنا سابقا فإن جميع حالات الأعطال، فيما عدا حالة قصر بين الأوجه الثلاثة، تعتبر حالات أعطال غير متزنة، أي أن التيارات المارة بالأوجه الثلاثة لا تكون

متزنة، ولذلك يتم تحويلها أولا إلى قيم متزنة حتى تسهل عملية الحل، وهو ما يعرف بطريقة الحل باستخدام المركبات المتماثلة (Symmetrical Components)

١ – ١٠ المركبات المتماثلة (Symmetrical Components)

تم التوصل إلى هذه الطريقة حوالى عام ١٩١٨ وذلك لتسهيل تحليل الأعطال غير المتزنة (أو غير المتماثلة). وفكرة هذه الطريقة تتلخص فيما يلى:-

نفرض أن النظام غير المتزن يحتوى على عدد n متجه. يتم حل هذه المتجهات إلى عدد n نظام متزن، كل نظام يحتوى على عدد n متجه، هذه المتجهات المتزنة تسمى مركبات متماثلة للمركبات الأصلية.

المركبات المتماثلة لنظام ثلاثى الأوجه

Symmetrical Component Of Three - Phase System.

نفرض نظام ثلاثى الأوجه له مركبات للجهد V_a, V_b, V_c غير متزنة، أو مركبات تيــــار I_a, I_b, I_c غير متزنة. يتم تحليل مركبات الجهد غير المتزنة الى ثلاثة نظم متزنة وكذلك يتم تحليل مركبات التيار غير المتزنة إلى ثلاثة نظم متزنة.

هذه النظم المتزنة عبارة عن:

أ– مركبات التعاقب الموجب: Positive Sequence Components

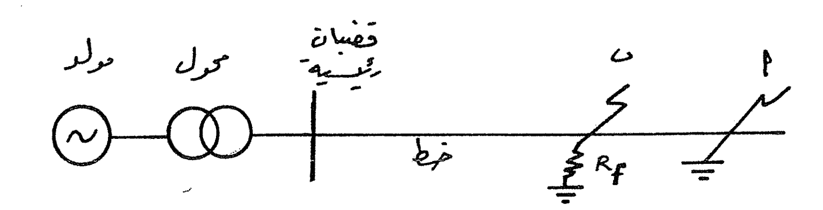
ويرمز لها بالرموز v_{a1}, v_{b1}, v_{c1} للجهد، و I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} للتيار، وهى تشبه متجهات النظام المتزن من حيث أنها متساوية فى المقدار، وتختلف مرحليا عن بعضها بزاوية ١٢٠°، وتعاقب الأوجه فى نفس اتجاه دوران النظام الأصلى، ضد عقارب الساعة، أى abc، بمعنى أن a يأتى فى الأول، ويعقبه b، ثم يعقبه c.

ب– مركبات التعاقب السالبة: Negative Sequence Components

ويرمز لها بالرموز v_{a2}, v_{b2}, v_{c2} للجهد،و I_{a2}, I_{b2}, I_{c2} للتيار، وهى أيضا تشبه متجهات النظام المتزن من حيث أنها متساوية فى المقدار، وتختلف مرحليا عن بعضها بزاوية ١٢٠°، ولكن تعاقبها يكون فى عكس الإتجاه مع عقارب الساعة، أى acb، بمعنى أن a يأتى فى الأول، ويعقبه c، ثم يعقبه b.

جـ– مركبات التعاقب الصفرى Zero Sequence Components

ويرمز لها بالرموز v_{ao}, v_{bo}, v_{co} للجهد، و I_{ao}, I_{bo}, I_{co} للتيار، وتكون متساوية فى القيمة، ومتطابقة مرحليا، أى أنها فى نفس الإتجاه.شكل (٤–١٠) يوضح هذه المركبات للتيار I_a, I_b, I_c.



شكل (٣- ١٠)

I_a , I_b , I_c ≡ I_{a1} , I_{b1} , I_{c1} (abc, 120°) + I_{a1} , I_{b1} , I_{c1} (acb) + I_{a0} , I_{b0} , I_{c0}

التيارات غير المتزنة — التعاقب الموجب — التعاقب السالب — التعاقب الصفري

شكل (٤- ١٠)

تكون مجموعة الجهد أو التيار ثلاثية الأوجه غير متزنة إذا إختل فيها أحد الشرطين الآتيين:

١- أن تكون المتجهات الثلاثة التى تمثل الأوجه الثلاثة متساوية.

٢- أن تكون الزاوية بين كل وجهين مساوية ١٢٠° كهربية.

فإذا كانت المتجهات الأصلية للنظام، غير متزنة، وهى v_a, v_b, v_c للجهد، وI_a, I_b, I_c للتيار، فإنه يمكن تحليلها إلى ثلاثة مجموعات متزنة وهى:

- مركبات التعاقب الموجب v_{a1}, v_{b1}, v_{c1} وI_{a1}, I_{b1}, I_{c1} للتيار.
- مركبات التعاقب السالب v_{a2}, v_{b2}, v_{c2} للجهد وI_{a2}, I_{b2}, I_{c2} للتيار.
- مركبات التعاقب الصفرى v_{ao}, v_{bo}, v_{co} للجهد وI_{ao}, I_{bo}, I_{co} للتيار.

بحيث تتحقق العلاقات الآتية:

$$\overline{I}_a = \overline{I}_{a1} + \overline{I}_{a2} + \overline{I}_{ao} \qquad \overline{v}_a = \overline{v}_{a1} + \overline{v}_{a2} + \overline{v}_{ao}$$

$$\overline{I}_b = \overline{I}_{b1} + \overline{I}_{b2} + \overline{I}_{bo} \qquad \overline{v}_b = \overline{v}_{b1} + \overline{v}_{b2} + \overline{v}_{bo}$$

$$\overline{I}_c = \overline{I}_{c1} + \overline{I}_{c2} + \overline{I}_{co} \qquad \overline{v}_c = \overline{v}_{c1} + \overline{v}_{c2} + \overline{v}_{co}$$

المعادلات الثلاثة السابقة (سواء الخاصة بالتيار أو الخاصة بالجهد) تحتوى على تسعة مجاهيل، ولكن توجد علاقة معروفة بين المركبات فى كل مجموعة تعاقب، ستؤدى إلى تخفيض عدد المجاهيل إلى ٣ فقط بحيث يمكن حل هذه المعادلات. يتضح ذلك مما يلى، بعد تعريف العامل a، وهو فى طبيعته الحقيقية عبارة عن متجه.

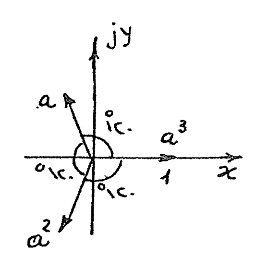
العامل "a" (Operator "a")

هو عبارة عن متجه طوله الوحدة، ويصنع زاوية ١٢٠° مع الإتجاه الموجب للمحور x الأفقى، ولذلك فإن حاصل ضرب أى متجه فى العامل "a" يعنى دوران هذا المتجه ١٢٠° فى الإتجاه الموجب، كما أن ضرب المتجه فى a^2 يعنى دورانه ٢٤٠° فى الإتجاه الموجب أو ١٢٠° فى الإتجاه السالب، ثم إن ضرب المتجه فى a^3 يعنى دورانه ٣٦٠° فى الإتجاه الموجب، وهو ما يعنى عدم حدوث أية تغيير بالنسبة له، كما لو كان قد ضرب فى الواحد الصحيح، مما يعنى أن $a^3=1$، ولذلك يمكننا أن نعتبر أن:

$$a = 1\,\underline{|120} = 1\ e^{j\frac{2\Pi}{3}} = -0.5 + j\,0.866$$

$$a^2 = 1\,\underline{|240} = 1\ e^{j\frac{4\Pi}{3}} = -0.5 - j\,0.866$$

$$a^3 = 1 \qquad a + a^2 + 1 = 0$$



وسوف تستخدم هذه العلاقات لتسهيل حل المعادلات السابقة.
ويوضح جدول رقم (١-١٠) العلاقات بين المركبات الموجبة والسالبة والصفرية، وكذلك العلاقات بين المتجهات الأصلية والمركبات الموجبة والسالبة والصفرية، وذلك بعد أخذ العامل "a" فى الإعتبار على النحو السابق.

تيار التعاقب الصفرى Zero Sequence Current

فى النظم ثلاثية الأوجه، إذا وجد مسار لعودة تيار القصر، مثلا من خلال نقطة التعادل المؤرضة، فإن التيار المار فى نقطة التعادل I_n يساوى

$$\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$$

ومن جدول رقم (١-١٠)

$$\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 3\, I_{a0} \quad \therefore \quad I_{a0} = \frac{I_n}{3}$$

عندما تكون الأحمال متصلة على شكل دلتا، فإن تيار القصر الأرضى لا يجد مساراً لعودتة وبالتالى لا يحتوى على مركبة صفرية عند تحليله، بمعنى آخر إذا لم يوجد مسار مع الأرض لعودة التيار فإن تحليل المركبات يكون عبارة عن مركبة سالبة ومركبة موجبة فقط، ويحدث هذا فى حالتين إما أن تكون الشبكة غير مؤرضة، أو يكون القصر غير متصل بالأرض.

بعد أن تعرفنا على مركبات التعاقب الوجهى الموجبة والسالبة والصفرية للتيار والجهد، فإنه يلزم معرفة الدوائر المكافئة لمعاوقة كل من المركبة الموجبة والسالبة والصفرية. حيث تتكون أى شبكة كهربائية من مولدات – محولات – خطوط – ممانعات ... ويعتبر المولد هو الأساس فى حسابات القصر، على إعتبار أنه المغذى الرئيسى لتيار القصر. فعند عمل حسابات القصر لجزء من الشبكة الكهربائية يؤخذ تأثير الشبكة كما لو كان مولداً.

جدول (٢-١٠) يوضح الدائرة المكافئة لمعاوقة المركبة الموجبة والسالبة والصفرية للمولد، إن وجد، أو للشبكة أو مصدر التغذية بإعتبار تمثيله كمولد.

جدول (٣-١٠) يوضح الدائرة المكافئة والمعادلات المستخدمة فى حالة حدوث قصر على مولد موصل نجمة مؤرضة من خلال معاوقة Z_n

ويمكن ملاحظة الآتى من الجدولين (٢-١٠)، (٣-١٠)

أ- تتكون الدائرة المكافئة لمركبة التعاقب الموجب للمولد من مصدر الجهد emf، ومتصل

جدول(١-١٠)

المركبات الموجبة	V_{a1} , $V_{b1} = a^2V_{a1}$, $V_{c1} = aV_{a1}$	
المركبات السالبة	V_{a2} , $V_{b2} = aV_{a2}$, $V_{c2} = a^2V_{a2}$	
المركبات الصفرية	$V_{ao} = V_{bo} = V_{co}$	
المتجهات الأصلية بدلالة المركبات المتعاقبة للجهد V_{a1}, V_{a2}, V_{a0}, و للتيار I_{a1}, I_{a2}, I_{a0}	$I_a = I_{ao} + I_{a1} + I_{a2}$ $I_b = I_{ao} + a^2I_{a1} + aI_{a2}$ $I_c = I_{ao} + aI_{a1} + a^2I_{a2}$	$V_a = V_{ao} + V_{a1} + V_{a2}$ $V_b = V_{ao} + a^2V_{a1} + aV_{a2}$ $V_c = V_{ao} + aV_{a1} + a^2V_{a2}$
المركبات المتعاقبة بدلالة المتجهات الأصلية للجهد V_a, V_b, V_c, و للتيار I_a, I_b, I_c	$I_{ao} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$ $I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$ $I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$	$V_{ao} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$ $V_{a1} = \frac{1}{3}(v_a + aV_b + a^2V_c)$ $V_{a2} = \frac{1}{3}(v_a + a^2V_b + aV_c)$

وبذلك يصبح عدد المعادلات يساوى عدد المجاهيل (أى ٣)، وهذا يعنى أننا نستطيع الحصول على مركبات التعاقب بمعرفة الجهود أو التيارات غير المتوازنة.

جدول (٢- ١٠)

تمثيل الحالة	الدائرة المكافئة	المعادلات المستخدمة
المركبة الموجبة	jX_1, I_{a1}, V_{a1}, E_a, + , −	$V_{a1} = E_a - I_{a1} X_1$ حيث E_a = جهد المصدر للوجه a X_1 = معاوقة التعاقب الموجب I_{a1} = تيار التعاقب الموجب V_{a1} = جهد التعاقب الموجب
المركبة السالبة	jX_2, I_{a2}, V_{a2}	$V_{a2} = - I_{a2} X_2$
المركبة الصفرية أ- اذا كانت نقطة التعادل مؤرضة من خلال معاوقة Zn Z_n	Z_{g0}, $3Z_n$, I_{a0}, V_{a0}	$V_{a0} = - I_{a0} X$ $= - I_{a0} (Z_{g0} + 3 Z_n)$ حيث Z_{g0} معاوقة التعاقب الصفرى للمولد
ب- اذا كانت نقطة التعادل معزولة Y أو Δ	Z_{g0}, I_{a0}, V_{a0}	$V_{a0} = 0$ $I_{a0} = 0$

جدول(٣-١٠)

تمثيل الحالة	الدائرة المكافئة	الشروط المحددة boundary cond	المعادلات المستخدمة
قصر أرضي على الوجه (a)	$V_a=0$ $I_{a1}=I_{a2}=I_{a0}$ $Z_0 = 3Z_n + Z_{g0}$	$V_a=0$ $I_b=0$ $I_c=0$	$I_{ao} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a$ $V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1$ $V_{a2} = - I_{a2}Z_2$ $I_n = 3 I_{a0}$ $I_{a1} = \frac{E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$
قصر على وجهين مع الأرض b, c $I_n = I_b + I_c$	$Z_0 = 3Z_n + Z_{g0}$	$V_b=0$ $V_c=0$ $I_a=0$	$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = \frac{V_a}{3}$ $V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1$ $I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}}}$ $I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}}$ $I_{a2} = \frac{-V_{a1}}{Z_2}$ $I_{a0} = \frac{-V_{a1}}{Z_0}$
قصر على وجهين b,c $I_n=0$		$I_b = 0$ $I_n = 0$ $V_b = V_c$ $I_b = - I_c$	$I_{a0} = \frac{I_n}{3} = 0$ $I_{a1} = \frac{1}{3} [a - a^2]I_b$ $I_{a2} = \frac{1}{3} [a^2 - a]I_b$ $I_{a1} = - I_{a2}$ $I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$ $V_{a1} = V_{a2} = E_a - I_{a1} Z_1$

معه على التوالى معاوقة المولد الموجبة.

ب- تتكون الدائرة المكافئة لمركبة التعاقب السالب للمولد من معاوقة التعاقب السالب.

حـ- تتكون الدائرة المكافئة لمركبة التعاقب الصفرى للمولد من معاوقة التعاقب الصفرى للمولد، مضافا إليها ثلاثة أمثال قيمة معاوقة نقطة التعادل (إذا كانت نقطة التعادل مؤرضة).

د- حالة قصر وجه واحد مع الأرض تكون التيارات I_{a1}, I_{a2}, I_{ao} متساوية، وعلى ذلك يتم توصيل الدوائر المكافئة الثلاثة على التوالى.

و- حالة قصر بين وجهين تكون

$V_{ao}= o, I_{ao}= o, I_{a1}=-I_{a2}$ وعلى ذلك يتم توصيل دائرتى التعاقب الموجب والسالب على التوازى.

هـ- حالة قصر بين وجهين مع الأرض تكون

$V_{a1}= V_{a2}= V_{ao}$ وعلى ذلك يتم توصيل الدوائر المكافئة للتعاقب الموجب والسالب والصفرى على التوازى.

وتعتبر هذه الدوائر المكافئة للتعاقب الموجب والسالب والصفرى للمولد هى الاساس ويمكن إضافة أى مكون آخر فى الشبكة إليها. سيتم فيما بعد إضافة معاوقة المحول – وهو الذى يهمنا فى هذا المكان- الى الدوائر المكافئة للمعاوقات.

فاذا أخذنا المثال الموضح فى الشكل.

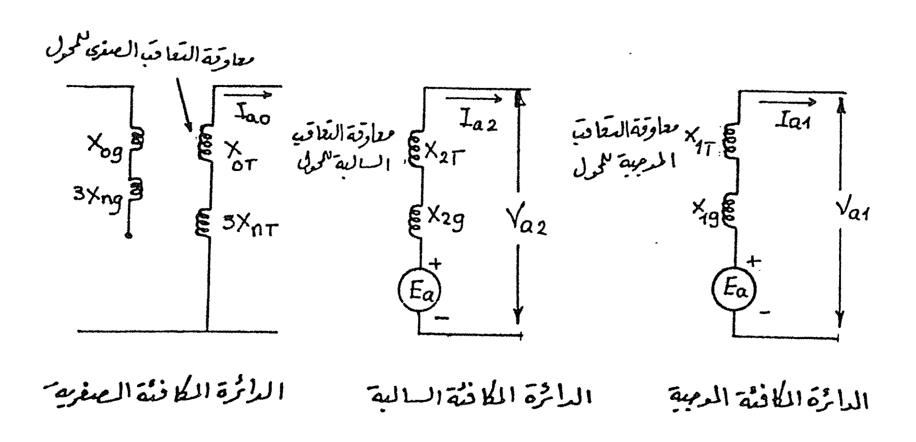
وحدث قصر عند النقطة F فان الدوائر المكافئة للتتابعية الموجبة والسالبة والصفرية موضحة فى شكل (٥-١٠)

١٠-٢ معاوقة المحول Transformer Impedance

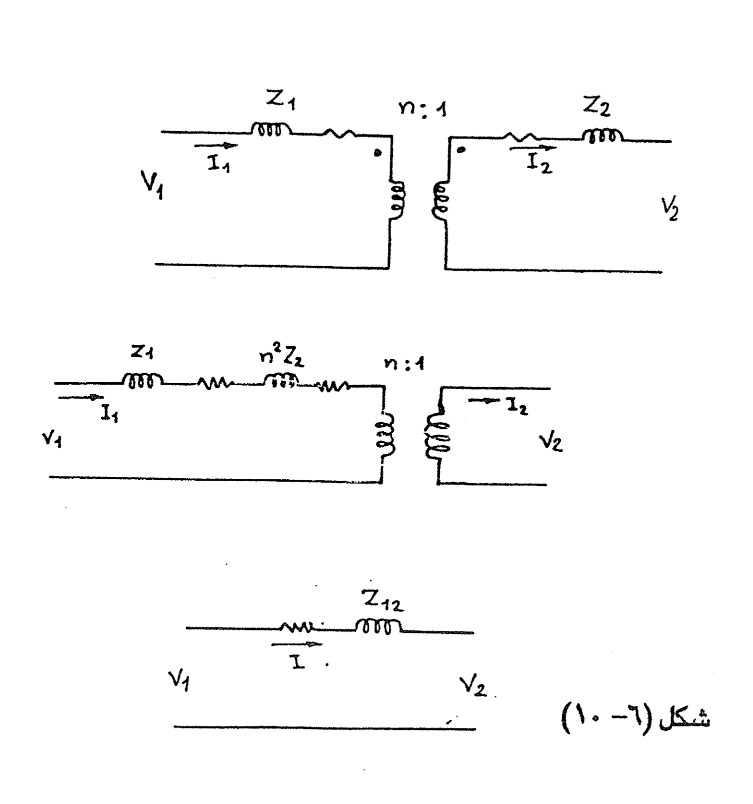
من الدائرة المكافئة لمحول أحادى الوجه بشكل (٦- ١٠) فان قيمة المعاوقة المكافئة منسوبة إلى الملف الابتدائى (١) تساوى

حيث

Z_1 = معاوقة ملف الجهد العالى بالأوم



شكل (٥– ١٠)



شكل (٦– ١٠)

Z_2 = معاوقة ملف الجهد المنخفض بالأوم

$$n = \text{نسبة التحويل للمحول} = \frac{\text{جهد ملف الجهد العالى}}{\text{جهد ملف الجهد المنخفض}} = \frac{V_1}{V_2}$$

ولكن يعبر عن معاوقة المحول عادة بنسبة مئوية أو بنسبة من الواحد الصحيح (كسرية) (Per unit) والتى سيرمز لها بالرمز Pu

نقوم أولا بتعريف ماذا تعنى النسبة المئوية والكسرية.

٣- ١٠ تعريف الوحدات المئوية والكسرية
Per unit and Percent Definitions

حسب نوع الكمية (تيار - جهد - معاوقة) التى يراد تحويل وحداتها العادية (أمبير- ڤولت- أوم) الى وحدات مئوية أو كسرية يتم أختيار قيمة معينة واعتبارها أساس أو قاعدة (Base)، (وتكون القاعدة من نفس وحدات الكمية الحقيقية المراد تحويل وحداتها إلى وحدات مئوية أو كسرية) وعلى ذلك تكون النسبة بين الكمية الأصلية الى القيمة الأساسية المختـــارة كقاعـــدة هى الكمية الحقيقية بوحدات كسرية، أى أن

$$\text{الكمية بوحدات كسرية} = \frac{\text{الكمية الأصلية}}{\text{القيمة الأساسية (القاعدة)}}$$

النسبة المئوية للكمية = الكمية بوحدات كسرية × ١٠٠

فمثلا لو أخـــذنا مقاومـــــات بقيم مختلفة مثل: R_3= 5 ohm, R_2= 15 ohm, R_1= 10 ohm ويـــراد تحـــويلها إلى وحدات كسرية بأختيار قيمة قاعديه هى R_B= 15 ohm (الرمز B المقصود به Base)

$$R_1 = \frac{10}{15} = 0.66 \quad pu = 66\%$$

$$R_2 = \frac{15}{15} = 1 \quad pu = 100\%$$

$$R_3 = \frac{5}{15} = 0.33 \quad pu = 33\%$$

بالنسبة للمحولات تختار المعاوقة التالية كقاعدة

$$Z_B = \frac{KV^2}{MVA} \longrightarrow (٢)$$

حيث

Kv = جهد المحول (الجهد العالى أو الجهد المنخفض المقنن على حسب الأحوال)

MVA = قيمة قدرة المحول المقننة ميجا ڤولت أمبير

Z_B = معاوقة المحول القاعدية منسوبة إلى ناحية الجهد KV المأخوذ فى الأعتبار

بالرجوع الى المعادلة (١) لتحويلها إلى وحدات كسرية نجد أن

$$Z_{12B} = (Z_1 + n^2 Z_2) / Z_{1B} \qquad pu$$

حيث

Z_{1B} هى المعاوقة المأخوذة كقاعدة والمعرفة بالمعادلة رقم (٢) عندما يكون الجهد المستخدم هو جهد ملف الجهد العالى (الابتدائى فى هـذه الحالة) KV_1 حيث

$$Z_{12B} = \frac{Z_1}{Z_{1B}} + n^2 \frac{Z_2}{Z_{1B}} \qquad (Z_1 = Z_{1B})$$

$$Z_{12B} = Z_{1B} + Z_{2B} \longrightarrow (٣)$$

وتصبح Z_{12B}، Z_{2B}، Z_{IB} فى المعادلة (٣) جميعها بوحدات كسرية (Pu)، منظورة من ناحية ملف الجهد العالى.

وإذا أعتبرنا القيم بالنسبة للمحول من ناحية الجهد المنخفض أو الملف الثانوى (٢) فى هذه الحالة، نجد أن

$$Z_{21B} = \frac{1}{n^2} \quad \frac{Z_1}{Z_{2B}} + \frac{Z_2}{Z_{2B}} \longrightarrow (٤)$$

حيث Z_{2B} هى المعاوقة المأخوذة كقاعدة، والمعرفة أيضا بالمعادلة رقم (٢) ولكن من ناحية ملف الجهد المنخفض، أى باستخدام الجهد المنخفض KV_2

من المعادلة رقم (٣) تكون Z_{12B} هى قيمة معاوقة التسرب للمحول بوحدات كسرية أو مئوية، تعطى عادة النسبة المئوية للمعاوقة، وتكون ثابتة تقريبا للمحولات المعروف حجمها وتصميمها. كما توجد جداول موضوعة بمعرفة المصانع تحدد قيم هذه المعاوقات، وهى تستخدم فى حالة عدم وجود لوحة بيان (Name Plate) على جسم المحول، جدول (٤ –١٠) يوضح قيم النسبة المئوية لمعاوقة محولات حتى قدرات ٥٠٠ ك.ف.أ أنتاج شركة وستنجهاوس لتردد ٦٠ هرتز – المحولات ذات ملفين – فى حالة محولات ذات أحجام كبيرة تكون غالبا المعاوقة (Impedance) عبارة عن ممانعة حاثية (Inductive Reactance)، أى تهمل المقاومة وتؤخذ عادة المقاومة فى الأعتبار فقط

عند حساب المفقودات، الكفاءة، أو دراسة التكاليف.

فى حالة محولات القدرة ذات الأحجام الكبيرة تعتمد قيمة معاوقة المحولات على طريقة التبريد المستخدمة.

جدول (٥ –١٠) يوضح معاوقة محولات ذات قدرات كبيرة إنتاج شركة وستنجهاوس. ونرى بالجدول حدود المعاوقة بحد أدنى وحد أقصى، معتمدا على نوع التبريد. فاذا كان التبريد بالهواء الطبيعى (OA) فان المعاوقة تؤخذ من جدول الحد الأدنى. أما اذا كان المحول يتم تبريده بالمراوح (Forced) والتى تسمح بفقد حرارة أسرع، والعمل عند تحميل أكبر، فان المعاوقة تؤخذ من جدول الحد الأقصى. ويمكن من جدول رقم (٥– ١٠) حساب قيمة معاوقة المحول الذاتــى ذى ملفين، وذلك بضرب القيمــة المأخوذة من هذا الجــدول فى المعامــل ($\frac{HV - LV}{HV}$) حيث HV جهد ملف الجهد العالى، LV جهد ملف الجهد المنخفض.

جدول (٤ –١٠)

قــــدرة محــول أحادى الــوجه ك.ف.أ	الجهد المقنــن ك.ف							
	٢,٥		١٥		٢٥		٦٩	
	X%	Z%	X%	Z%	X%	Z%	X%	Z%
٣	١,١	٢,٢	٠,٨	٢,٨				
١٠	١,٥	٢,٢	١,٣	٢,٤	٤,٤	٥,٢		
٢٥	٢	٢,٥	١,٧	٢,٣	٤,٨	٥,٢		
٥٠	٢,١	٢,٤	٢,١	٢,٥	٤,٩	٥,٢	٦,٣	٦,٥
١٠٠	٣,١	٣,٣	٢,٩	٣,٢	٥	٥,٢	٦,٣	٦,٥
٥٠٠	٤,٧	٤,٨	٤,٩	٥	٥,١	٥,٢	٦,٤	٦,٥

جدول (٥ – ١٠)

حدود قيم المعاوقة المئوية القياسية لمحولات قدرة ذات ملفين عند أرتفاع درجة الحرارة مقداره ٦٠م، (ترددات ٢٥، ٦٠ هرتز).

جهد ملف الجهد العالى ك.ف	جهد ملف الجهد المنخفض ك.ف	حـدود المعـاوقة المئـوية			
		نظام التبريد OA, OW, OA/FA, OA/FA/FOA		نظام التبريد FOA, FOW	
		أقل قيمة	أقصى قيمة	أقل قيمة	أقصى قيمة
١٥	١٥	٤,٥	٧	٦,٧٥	١٠,٥
٢٥	١٥	٥,٥	٨	٨,٢٥	١٢
٣٤,٥	١٥	٦	٨	٩	١٢
	٢٥	٦,٥	٩	٩,٧٥	١٣,٥
٤٦	٢٥	٦,٥	٩	٩,٧٥	١٣,٥
	٣٤,٥	٧	١٠	١٠,٥	١٥
٦٩	٣٤,٥	٧	١٠	١٠,٥	١٥
	٤٦	٨	١١	١٢	١٦,٥
٩٢	٣٤,٥	٧,٥	١٠,٥	١١,٢٥	١٥,٧٥
	٦٩	٨,٥	١٢,٥	١٢,٧٥	١٨,٧٥
١١٥	٣٤,٥	٨	١٢	١٢	١٨
	٦٩	٩	١٤	١٣,٥	٢١
	٩٢	١٠	١٥	١٥	٢٣,٢٥
١٣٨	٣٤,٥	٨,٥	١٣	١٢,٧٥	١٩,٥
	٦٩	٩,٥	١٥	١٤,٢٥	٢٢,٥
	١١٥	١٠,٥	١٧	١٥,٧٥	٢٥,٥
١٦١	٤٦	٩,٥	١٥	١٣,٥	٢١
	٩٢	١٠,٥	١٦	١٥,٧٥	٢٤
	١٣٨	١١,٥	١٨	١٧,٢٥	٢٧
١٩٦	٤٦	١٠	١٥	١٥	٢٢,٥
	٩٢	١١,٥	١٧	١٧,٢٥	٢٥,٥
	١٦١	١٢,٥	١٩	١٨,٧٥	٢٨,٥
٢٣٠	٤٦	١١	١٦	١٦,٥	٢٤
	٩٢	١٢,٥	١٨	١٨,٧٥	٢٣
	١٦١	١٤	٢٠	٢١	٣٠

OA = تبريد زيت وهواء طبيعى

OA/FA = تبريد زيت وهواء طبيعى/ هواء عن طريق مراوح (Forced)

OA/FA/FOA تبريد زيت وهواء طبيعى/ هواء عن طريق مراوح/ تبريد بدفع الزيت

FOW = تبريد بالزيت الطبيعى ودفع الزيت مع تبريد بالماء

جدول رقم (٦ – ١٠)

قدرة المحول م ف أ	قيمة جهد ملف الجهد العالي للمحول				
	حتى ١١ ك. ف	٢٢ ك. ف	٣٣ ك. ف	٦٦ ك. ف	١٣٢ ك. ف
٠,١	٤,٧٥	٥	٥	–	–
٠,٢٥	٤,٧٥	٥	٥	–	–
٠,٥٠	٤,٧٥	٥	٥	–	–
٠,٧٥	٤,٧٥	٥	٥	–	–
١	٤,٧٥	٥	٥	٦	–
١,٥	٥,٥	٦	٦	٧	–
٢	٦	٦	٦	٧	–
٢,٥	٦	٦	٦	٧	–
٣	٦	٧	٧	٧,٥	–
٤	٦	٧	٧	٧,٥	–
٥	٦	٧	٧	٧,٥	–
٧,٥	٧	٨	٨	٨,٥	٩
١٠	٩	٩	٩	٩	١٠
١٥	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠
٢٠	–	١٠	١٠	١٠	١٠
٣٠	–	–	١٠	١٠	١٠
٤٥	–	–	–	١٠	١٢,٥
٦٠	–	–	–	١٠	١٢,٥
٧٥	–	–	–	–	١٢,٥

جميع القيم عند نسبة التحويل العادية، ونقط التقسيم (Tappings) يمكن أن تتغير فى حدود ± ١٠٪ تقريبا.

حيث X% هى القيمة المتوسطة للممانعة المئوية.

Z% هى القيمة المتوسطة للمعاوقة المئوية.

جدول (٦ –١٠) يوضح قيم معاوقة محولات ذات ملفين، لجهود وقدرات مختلفة، عند تردد ٥٠ هرتز، والمعاوقة بالنسبة المئوية.

للجهود العالية تكون معاوقة المحول كالآتى:

جهد ١٥٠ ك.ف حدود المعاوقة= ١٢٪ – ١٥٪

جهد ٢٧٥ ك.ف حدود المعاوقة= ١٥٪ – ٢٠٪

المواصفات الألمانية (DIN) تنص فى جداول معاوقة المحولات على ذكر المجموعة الأتجاهية (Vector Group) للفات المحولات*، كذلك تنص على نوع القلب المستخدم هل هو ثلاثة سيقان (3- Limbed)، أو خمسة سيقان (5- Limbed)، كما فى الجداول أرقام (٧– ١٠)، (٨ –١٠)، (٩ –١٠)

جدول رقم (١٠ – ١٠) يحدد قيم المعاوقة المئوية طبقا للمواصفات القياسية المصرية.

جدول (٧ –١٠)

القلب	ثلاثة سيقان			
المجموعة الاتجاهية	Yzn		Dyn	
الجهد (KV)	٣,٦ – ٢٤	٣,٦ – ٣٦	٣,٦ – ٢٤	٣,٦ – ٣٦
القدرة (KVA)	أقل من ٢٥٠	أقل من ٢٥٠	٢٥٠ – ٦٣٠	٢٥٠ – ١٦٠٠
المعاوقة المئوية	٤	٦	٤	٦
المقاومة المئوية	٢,١٥ – ١,٥	٢,٣ – ٢	١,٦٥ – ٢,٠٥	١,٨ – ١,٢٥

جدول (٨ – ١٠)

القلب	ثلاثة سيقان						
المجموعة الاتجاهية	YNd						
الجهد (KV)	٣-٣٦		٧٢,٥	١٢٢	٣٦	٧٢,٥	١٢٣
القدرة (MVA)	٢ – ٤	٥	٦,٣ إلى ١٠		١٢,٥ – ٤٠		
المعاوقة المئوية	٦	٧	٨	١٠	١٠	١١	١٢
المقاومة المئوية	١,٠٥–٠,٨٥	٠,٧–٠,٦٥	٠,٧٥–٠,٦٥	٠,٨٥–٠,٧	٠,٦–٠,٤٥	٠,٦٥–٠,٤٥	٠,٦–٠,٥

* المجموعة الأتجاهية تحدد طريقة توصيل كل من الملفات الأبتدائية والثانوية، حيث ترمز D إلى توصيل دلتا، Y إلى توصيل نجمة، Z إلى توصيل سداسى متعرج (Zigzag)

جدول (٩ – ١٠)

القلب	ثلاثة سيقان			خمسة سيقان		
المجموعة الاتجاهية	YNd			YNd		
الجهد (KV)	١٢٣	١٤٥ – ٢٤٥	٣٠٠ – ٤٢٠	١٢٣	٢٤٥	٤٢٠
القدرة (MVA)	٥٠ – ٣٥٠	٥٠ – ٣٥٠	١٠٠ – ٣٥٠	٣٣٠	٤٤٠–١٠٠٠	٢٧٠–١٠٠٠
المعاوقة ٪	١٣ – ١٤	١٣ – ١٦	١٢ – ١٦	١٦,٥	١٤,٥–١٧,٥	١٤ – ١٨
المقاومة ٪	٠,٢–٠,٤	٠,٢–٠,٤	٠,٢–٠,٣٥	٠,٢٢	٠,٢–٠,٢٥	٠,٢–٠,٢٧

جدول (١٠-١٠)

قيم جهد المعاوقة القياسية للمحولات ذات ملفين منفصلين (محول تقليدى)

القدرة المقننة ك.ف.أ	جهد المعاوقة المئوية
حتى ٦٣٠	٤٪
٦٣١ - ١٢٥٠	٥٪
١٢٥١ - ٣١٥٠	٦,٢٥٪
٣١٥١ - ٦٣٠٠	٧,١٥٪
٦٣٠١ - ١٢٥٠٠	٨,٣٥٪
١٢٥٠١ - ٢٥٠٠٠	١٠٪
٢٥٠٠١ - ٢٠٠٠٠٠	١٢,٥٪

- للقيم أعلى من ٢٠٠ م.ف.أ يتم الأتفاق عليها بين الصانع والعميل.
- جهد المعاوقة عند التيار المقنن، معطاه، كنسبة مئوية من الجهد المقنن للملف المسلط عليه الجهد.

٤- ١٠ معاوقة محول ذى ثلاثة ملفات

Impedance of 3- Winding Transformer

أصبح من الشائع الآن استخدام محولات قدرة ذات ثلاثة ملفات، وغالبا يتم أستخدام ملفين من الثلاثة ملفات لتحويل الجهد العالى إلى جهد متوسط، بينما يستخدم الملف الثالث (Tertiary Winding) لأحد الأغراض التالية: أما للحصول على جهد منخفض لشبكات التوزيع، توصيل مكثف أو ممانعة عليه لأغراض تحسين معامل القدرة، أو توصيل ملفاته على شكل دلتا مغلقة (Δ) واعتبارها مسارا لمرور تيار التعاقب الصفرى Zero Sequence Current.

شكل (٧ -١٠)أ يوضح تمثيلا لمحول يحتوى على ثلاثة ملفات، وعادة تستخدم الرموز التالية للدلالة على نوع الملف: P للدلالة على« ملف الجهد العالى (Primary)، S للدلالة على ملف الجهد المتوسط (Secondary), t للدلالة على ملف الجهد الثالث

(Tertiary). كذلك شكل (٧- ب) يوضح تمثيل معاوقة الملفات الثلاثة.

لايجاد قيم المعاوقات Z_p, Z_s, Z_t تستخدم المعادلات الآتية:

$$Z_p = \left(\frac{Z_{ps}}{S_{ps}} + \frac{Z_{tp}}{S_{tp}} - \frac{Z_{st}}{S_{tp}}\right) \left(\frac{KV^2}{2 \times 100\%}\right)$$

$$Z_s = \left(\frac{Z_{st}}{S_{st}} + \frac{Z_{ps}}{S_{ps}} - \frac{Z_{tp}}{S_{tp}}\right) \left(\frac{KV^2}{2 \times 100\%}\right)$$

$$Z_t = \left(\frac{Z_{tp}}{S_{tp}} + \frac{Z_{st}}{S_{st}} - \frac{Z_{ps}}{S_{ps}}\right) \left(\frac{KV^2}{2 \times 100\%}\right)$$

حيث

Z_p معاوقة ملف الجهد العالى.

Z_s معاوقة ملف الجهد المتوسط.

Z_t معاوقة الملف الثالث.

Z_{ps} معاوقة التسرب بين الملفين p,s (نسبة مئوية).

Z_{st} معاوقة التسرب بين الملفين S,t (نسبة مئوية).

Z_{tp} معاوقة التسرب بين الملفين t,p (نسبة مئوية).

S_{ps} قدرة المحول بين الملفين p,s

S_{st} قدرة المحول بين الملفين S,t

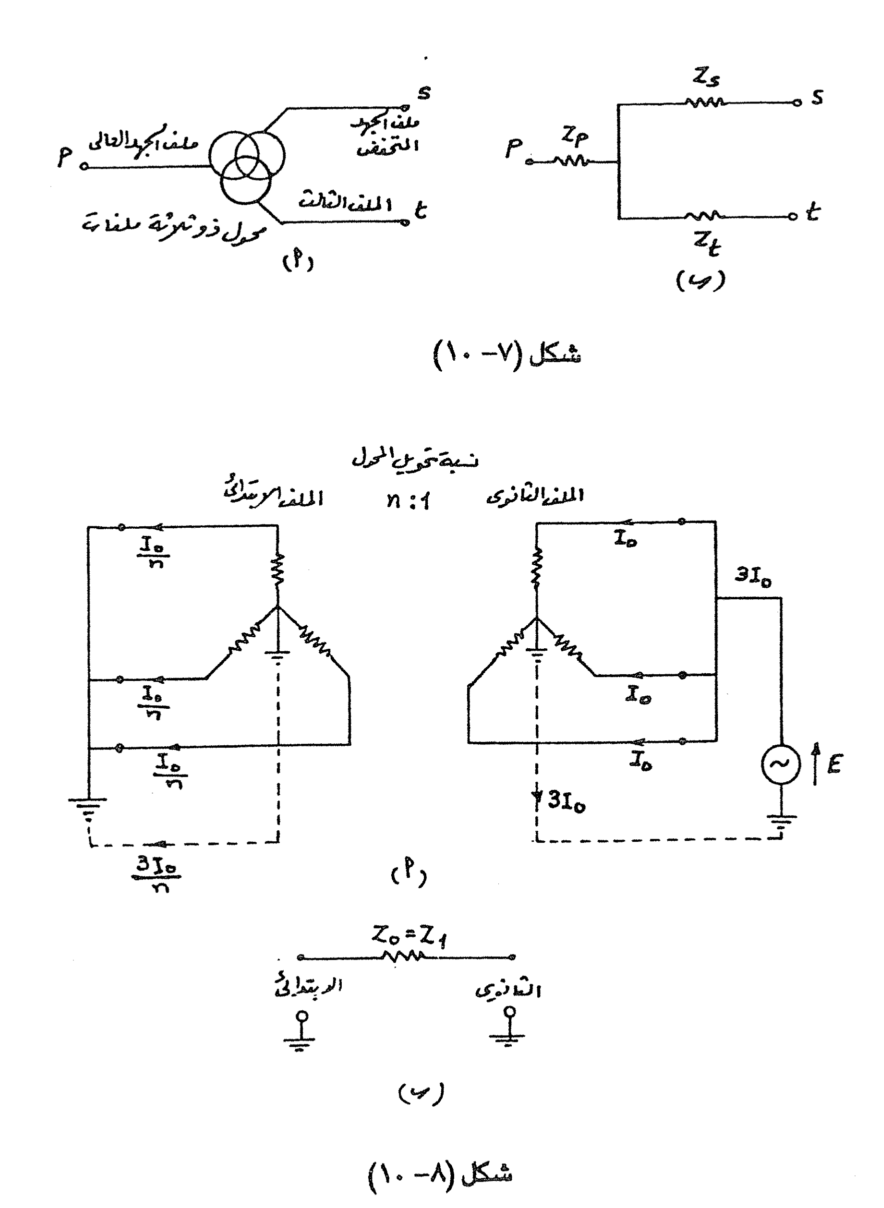
S_{tp} قدرة المحول بين الملفين t,p

KV جهد أحد الملفات الثلاثة.

جدول (١١- ١٠) يوضح مثالا لمحولات تحتوى على ثلاثة ملفات، وموضحا به جميع القيم المستخدمة فى المعادلة السابقة (مع ملاحظة أن قدرة الملف الثالث (t) تكون (MVA/3). كذلك القيم النسبية ذات الرموز (ps) منسوبة الى القدرة الكلية، بينما القيم النسبية ذات الرموز pt, st منسوبة إلى القدرة مقسومة على ٣

جدول (١١– ١٠)

القلب	ثلاثة سيقان		خمسة سيقان
المجموعة الاتجاهية	YNyn (d)	YNa (d)l محول ذاتى	YNyn (d)
الجهد (KV)	١٢٣ – ٤٢٠	٢٤٥ – ٤٢٠	٢٤٥ – ٤٢٠
القدرة (MVA)	٢٠ – ٣٠٠	حتى ٢٤٠	٣٥٠ – ٦٠٠
$Z_{ps}\%$	١٠ – ٢٠	٩ – ١٠	١٣ – ٢١
$Z_{pt}\%$	١٣ – ٣٧	١٧ – ٢٤	١٧ – ٥٠
$Z_{st}\%$	٦ – ٣٢	١٤ – ٣٧	١١ – ٤٦
$R_{ps}\%$	٠,٣ – ٠,٢	٠,٣ – ٠,١٥	٠,٣ – ٠,٢
$R_{pt}\%$	١ – ٠,٢	٠,٧ – ٠,٥	١ – ٠,٢
$R_{st}\%$	١ – ٠,٢	١ – ٠,٥	١ – ٠,٢



شكل (٧- ١٠)

شكل (٨- ١٠)

كما ذكر فى الجزء الأول من هذا الباب فانه يلزمنا معرفة كل من معاوقات التعاقب الموجب والسالب والصفرى، لأجراء عمليات حساب تيارات القصر. وعلى ذلك فان جميع المعاوقات التى ذكرت بالمعادلات السابقة أو من الجداول السابقة للمحولات تعتبر هى معاوقة التعاقب الموجب للمحول. وحيث أن المحول يعتبر معدة ساكنة (Static device) فان قيمة معاوقة التسرب (التى هى معاوقة التعاقب الموجب للمحول) لاتتأثر باتجاه الدوران سواء كان abca أو acba، وعلى ذلك فان معاوقة التعاقب الموجب تساوى معاوقة التعاقب السالب، وكل منهما تساوى معاوقة التسرب للمحول أى أن

$$Z_1 = Z_2 = Z_{Leakage}$$

عادة تعطى قيمة المعاوقة النسبية للمحول على لوحة بيان المحول، ولكن فى حالة عدم وجود لوحة بيان للمحول، نستطيع الاسترشاد بالجداول التى ذكرت فى هذا الباب. أحيانا يطلق على قيمة جهد معاوقة التسرب للمحول بانها جهد معاوقة دائرة القصر (Short Circuit Voltage Impedance%)

أما معاوقة التعاقب الصفرى للمحول Z_0 فسوف نبينهما فيما يلى:

٥- ١٠ معاوقة التعاقب الصفرى للمحول

Zero Sequence Impedance Of Transformer

تعتمد قيمة هذه المعاوقة على ما يأتى:

- نوع توصيلة الملفات، هل دلتا أو نجمة.
- طبيعة نقطة التعادل: معزولة- مؤرضة مباشرة مع الأرض- مؤرضة من خلال مقاومة أو ممانعة.

فيما يلى بعض الحالات لتوضيح هذا.

الحالة الأولى

محول المجموعة الأتجاهية له نجمة/ نجمة (Yy) مؤرض من الجهتين مباشرة مع الأرض كما فى شكل (٨ -١٠)

فى شكل (٨ -١٠) يفرض أن جزء الشبكة الموصل جهة الملف الابتدائى مؤرضا أيضا مباشرة مع الأرض. لقياس قيمة معاوقة التعاقب الصفرى يتم عمل قصر على الملفات الابتدائية وتسليط جهد E على الملف الثانوى فيكون التيار المار بنقط التعادل للجانبين $\frac{3Io}{n}$، 3Io حيث n هى نسبة تحويل المحول. يلاحظ أن هذا التيار يعوقه فقط معاوقة التسرب لكل وجه (أو معاوقة التعاقب الموجب) أى أن $Z_0 = Z_1$ فى هذه الحالة. وتكون الدائرة

المكافئة لمعاوقة التعاقب الصفرى كما فى شكل (٨- ١٠) ب.

الحالة الثانية:

محول المجموعة الأتجاهية له نجمة/ دلتا النجمة مؤرضة مباشرة مع الأرض (Yd) شكل (٩- ١٠).معاوقة التعاقب الصفرى المقاسة، من الجانب Y، تساوى معاوقة التعاقب الموجب للمحول، يمر تيار دائرى بالملفات الموصلة Δ، ولا يخرج تيار للمركبة الصفرية من الأطراف. ولذلك تم تمثيل الدائرة المكافئة لمعاوقة التعاقب الصفرى كما فى شكل (٩- ١٠) ب حيث ترك جانب الدلتا مفتوح، بينما جانب النجمة تم توصيل Z_0 من خلاله.

الحالة الثالثة:

محول المجموعة الأتجاهية له نجمة/ نجمة أحداهما مؤرضة فقط- كما فى شكل (١٠-١٠) عند مرور تيار I_0 بالملف الأبتدائى، لا يمر تيار بالملف الثانوى، لأن الملف الثانوى يعتبر دائرة مفتوحة بالنسبة للمسار I_0، معنى ذلك أن معاوقة التعاقب الصفرى المقاسة من الجانب Y تعتبر معاوقة دائرة مفتوحة أو معاوقة التمغطس (magnetizing). وهى قيمة كبيرة جدا حوالى (١٠٠٠٠٪)، ولذلك تعتبر عمليا أنها معاوقة لانهائية، أو دائرة مفتوحة كما فى شكلى (١٠- ١٠) ب، (١٠- ١٠) حـ.

فى هذه الحالة يجب معرفة نوع القلب المستخدم للمحول لتأثيره على قيمة Z_0:

أ- محول ذو مسار حر للفيض Transformer With Free Flux

كما فى شكل (١١- ١٠) يحتوى القلب على عدد ٤ سيقان (Limbs) فيعود الفيض الناتج من مرور التيار I_0 فى كل ساق عن طريق الساق الرابعة، والتى تعرف بالساق الحرة (Free Limb)، وفى هذه الحالة لا يوجد مسار تسرب فى الهواء، وتساوى معاوقة التعاقب الصفرى عادة مالانهاية

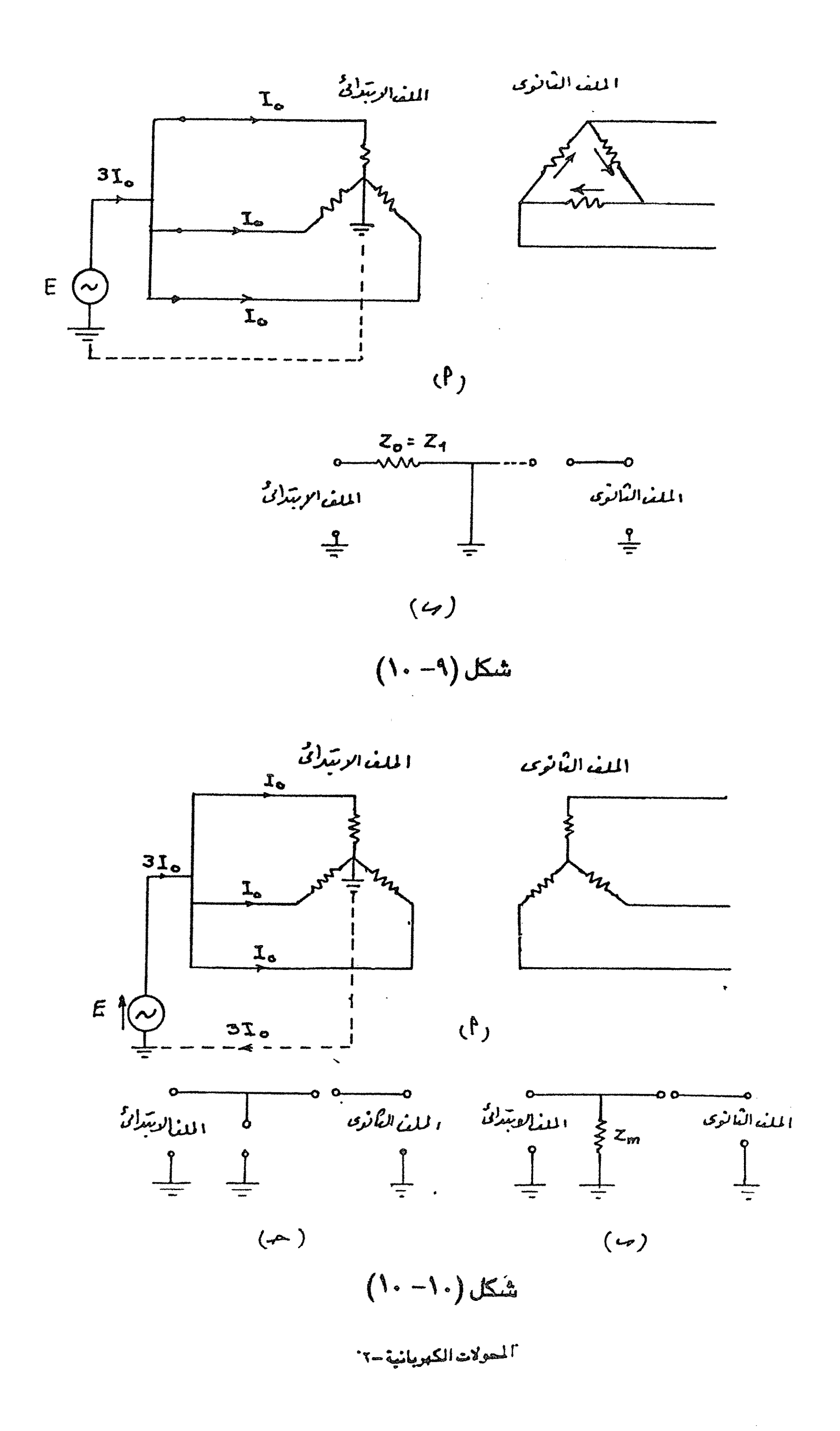
$$Z_0 = \infty$$

ب- محول ذو فيض قسرى Transformer With Forced Flux

كما فى شكل (١٢- ١٠) يحتوى القلب على عدد ٣ سيقان.، الفيض الناتج من مرور I_0 فى كل ساق يعود فى مسارين: أحداهما فى الهواء والأخر محاط بالقلب المغناطيسى.

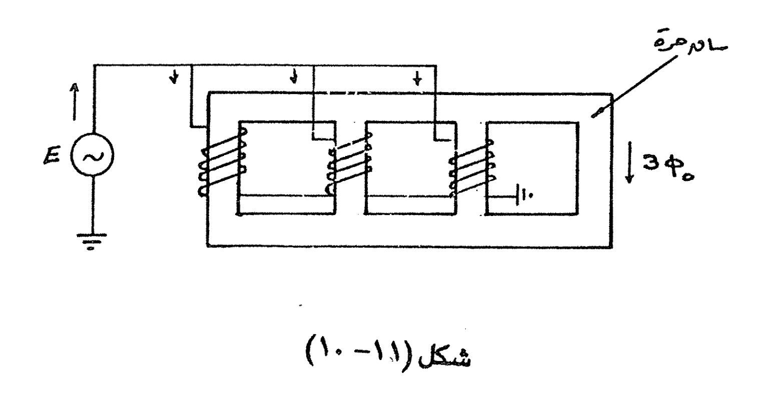
وتكون معاوقة التعاقب الصفرى فى هذه الحالة عبارة عن:

$$Z_0 = 10\,Z1$$

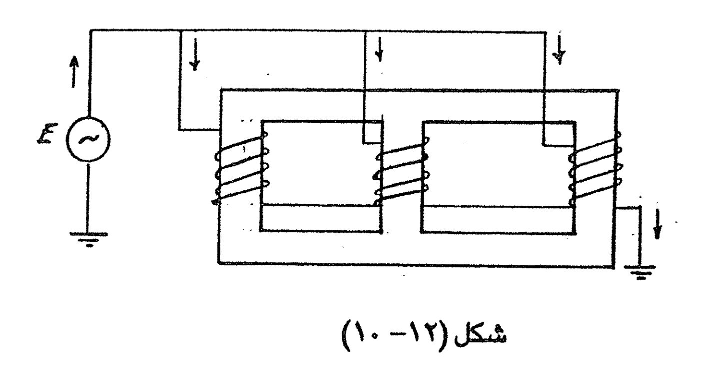


شكل (٩- ١٠)

شكل (١٠- ١٠)



شكل (١١- ١٠)



شكل (١٢- ١٠)

٦- ١٠ ايجاد معاوقة التعاقب الصفرى بالاختبار

Determination Of Zero- Sequence Impedances by Test

يفضل ايجاد معاوقة التعاقب الصفرى للمحول بالاختبار عن طريق استخدام مركبة تعاقب التيار الصفرية، لأن مركبات تعاقب التيارات الصفرية، فى الد وائر ثلاثية الأوجه، تكون كل منها فى اتجاه مرحلى (In Phase) مع الأخرى، وعلى ذلك يمكن توصيل أطراف مخرج المحولات أما على التوالى، أو على التوازى، وتسليط جهد أختبار واحد، كما فى شكل (١٣- ١٠)، وهو يوضح مجموعة من التوصيلات للحصول على معاوقة التعاقب الصفرى بالاختبار، يمكن اجراء الاختبار على الملفات الموصلة دلتا أو نجمة (d أو Y). تبين الاشكال (١٣- ١٠) أ، ب، حـ، ء، استخدام الملفات الموصلة نجمة، وفى هذه الحالة يتم التوصيل على التوازى، ويكون التيار فى طرفى المصدر (I_L) ثلاثة أمثال التيار الوجهى (بالملف)، وبالتالى تكون معاوقة التعاقب الصفرى Z_0 عبارة عن:

$$Z_0 = \frac{E_{(test)}}{I_{L/3}} = \frac{3E_{(test)}}{I_L} = \frac{E_{(test)}}{I_{phase}}$$

$$(I_L = 3\, I_{ph})$$

بينما فى حالة توصيل الملفات دلتا فانها تترك مفتوحة، وفى هذه الحالة يكون جهد الاختبار ثلاثة أمثال جهد الوجه، وبالتالى تكون معاوقة التعاقب الصفرى Z_0 عبارة عن:

$$Z_0 = \frac{E_{test}/3}{I_L} = \frac{E_{phase}}{I_L}, (E_{ph} = \frac{1}{3} E_{test})$$

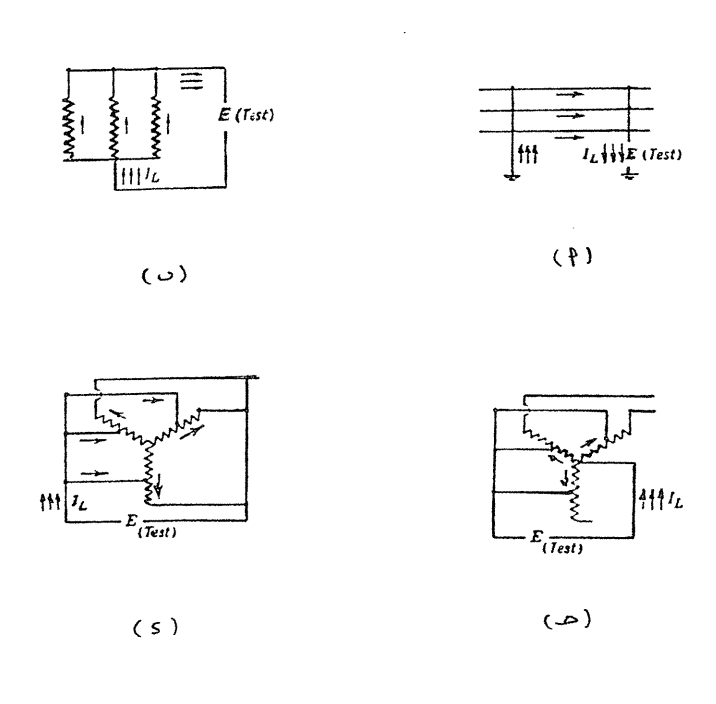
فى المحولات Yd، اذا تم الاختبار من جهة الدلتا المفتوحة كما فى شكل (١٣- ١٠) س، ص فان Z_0 المقاسة يمكن أن تكون نسبة مئوية، أو بالأوم. فاذا كانت بالاوم فانه يلزم تحويلها إلى جانب Y باستخدام مربع نسبة التحويل.

٧- ١٠ قياس معاوقة التعاقب الصفرى لمحول يحتوى على ثلاثة ملفات (Y d Y)

يمكن الحصول على قيمة Z_0 عن طريق اجراء ثلاثة أختبارات.

الأختبار الأول

يتم عمل قصر علـــى ملفات الملف الابتدائى. وتسليط جهد بين وجه والأرض كما



I_L E (Test)

I_L E (Test)

(ص)   (س)

شكل (١٣ - ١٠)

فى شكل (١٤- ١٠). يتم تسجيل القراءات E ،I_o.ومن الدائرة المكافئة نجد أن:

التعاقب الصفرى للملف t + التعاقب الصفرى للملف p $= Z_{t0} + Z_{p0} = Z_1\%$

$$Z_1\% = \frac{\text{applied voltage (in \% of the rated phase voltage)}}{\text{phase current (in \% of the rated line current)}} \times 100$$

الأختبار الثانى

يتم عمل قصر على الملفات الثانوية وتسلط جهد بين وجه الأرض، كما فى شكل (١٥- ١٠). وترك الملف الابتدائى مفتوحا. يتم تسجيل القراءات E ،I_o

$$Z_2\% = Z_{so} + Z_{to}$$

$$= \frac{\text{applied voltage (in \% of the rated phase voltage)}}{\text{phase current (in \% of the rated line current)}} \times 100$$

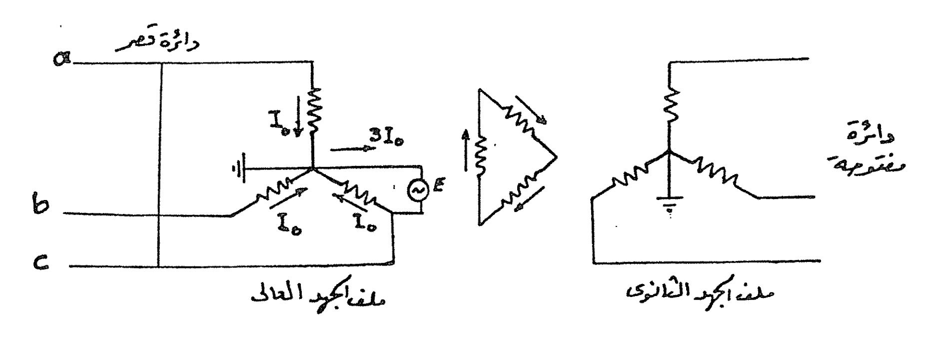
الأختبار الثالث

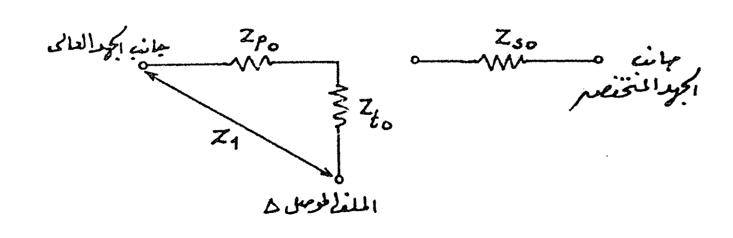
يتم عمل قصر على ملفات الملف الابتدائى وملفات الملف الثانوى وتسليط جهد بين وجه والأرض للملف الابتدائى. يتم قياس E ،I_o

كما فى شكل (١٦- ١٠) فى هذه الحالة المعاوقة المكافئة

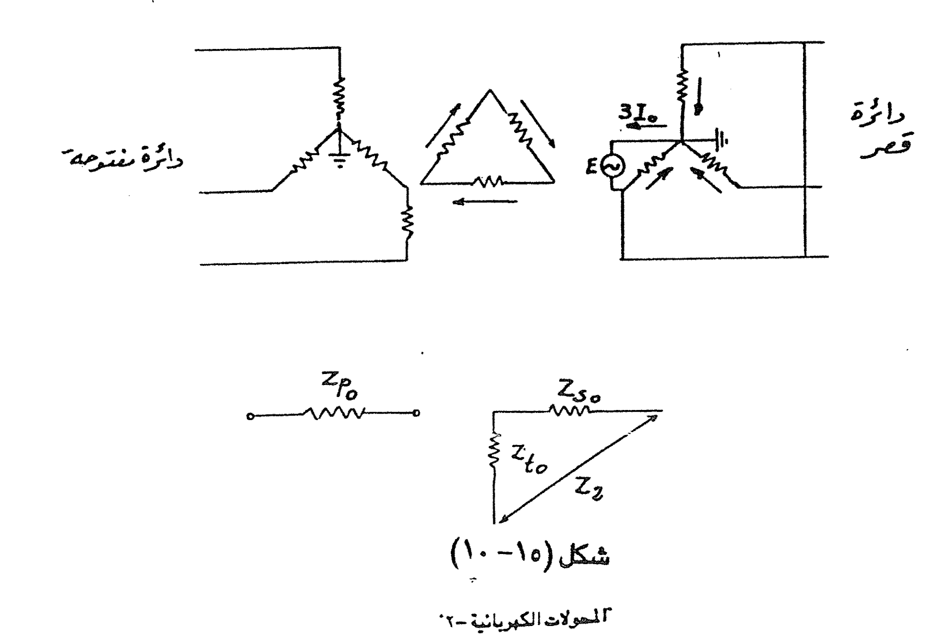
$$Z_3\% = Z_{po} + \frac{Z_{to}\,Z_{so}}{Z_{to} + Z_{so}}$$

$$= \frac{\text{applied voltage (in \% of the rated phase voltage)}}{\text{phase current (in \% of the rated line current)}} \times 100$$





شكل (١٤-١٠)



شكل (١٥-١٠)

من الأختبارات الثلاثة نجد أن:

$$Z_{to} = \sqrt{(Z_1 - Z_3) Z_2}$$

$$Z_{po} = Z_1 - \sqrt{(Z_1 - Z_3) Z_2}$$

$$Z_{so} = Z_2 - \sqrt{(Z_1 - Z_3) Z_2}$$

وتصبح الدائرة المكافئة للتعاقب الصفرى لمحول ذى ثلاثة ملفات كما فى شكل (١٧-١٠)

جدول (١١- ١٠)أيوضح الأنواع المختلفة من المحولات: ذو ملفين- ذو ثلاثة ملفات- أو محول ذاتى، والدائرة المكافئة لمعاوقة التعاقب الصفرى، وقيمتها فى كل حالة.

٨- ١٠ حسابات تيارات القصر Short Circuit Currents

يمكن الحصول على تيار القصر $I_{s.c}$ فى حالة قصر على الأوجه الثلاثة (3. Phase Short Circuit) ببساطة من خارج قسمة جهد المصدر v على المعاوقة Z (من مكان القصر وحتى مصدر الجهد) بوحدات الأوم، على النحو التالى:

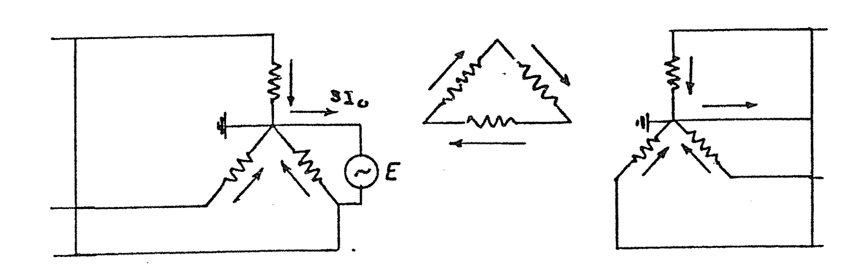
$$I_{s.c} = \frac{V}{Z} \quad \text{أمبير}$$

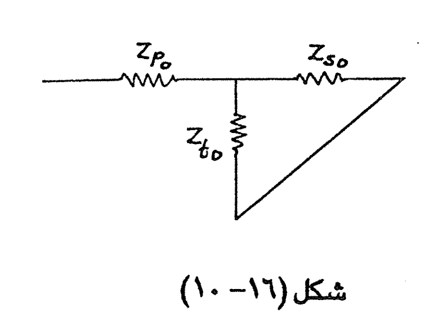
بينما اذا كانت المعاوقة معطاة بوحدات النسبة المئوية Z% فان، تيار القصر $I_{s.c}$ ينتج من خارج قسمة مائة مثل التيار المقنن I_N على هذه النسبة، كما يأتى:

$$I_{s.c} = \frac{100\, I_N}{\%Z}$$

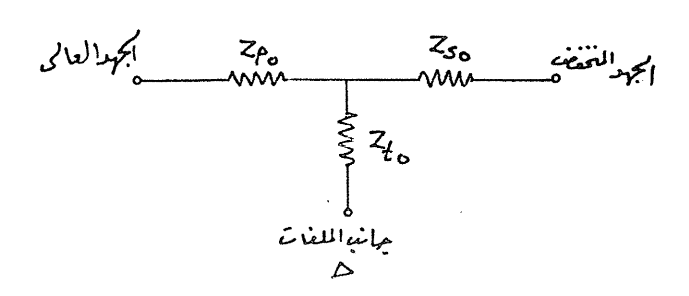
فى حالة أنواع القصر الأخرى (قصر بين وجه والأرض- قصر بين وجهين...) يكون تيار القصر $I_{s.c}$ فى هذه الحالة بدلالة التيار المقنن، على النحو التالى:

$$I_{s.c} = \frac{100\, I_N}{\%Z_{eff}}$$





شكل (١٦- ١٠)



شكل (١٧- ١٠)

جدول (١١– ١٠) أ

شكل	توصيل المحول - قصر على الجانب A	الدائرة المكافئة للتعاقب الصفرى	معاوقة التعاقب الصفرى	توضيح
1	B, A	B, A — هذا الفتح يعنى ∞	$Z_{AO} = \infty$	لا يمر أى تيار فى أطراف الدلتا فى الجهتين (أى فى الخطوط)
2	B, A	B, A, Z_{AB}	$Z_{AO} = \infty$	لا يمر أى تيار فى الخطوط
3	B, A, I_0, $3I_0$, Z_N	B, A, Z_{AB}, $3Z_N$	$Z_{AO} = Z_{AB} + 3Z_N$	- يمر فى الدلتا I_0 دائرى ولذلك لا يمر تيار فى خطوط الدلتا. - فى حالة النجمة المؤرضة مباشرة مع الأرض $Z_{A0} = Z_{AB}$
4	B, A	B, A	$Z_{AO} = \infty$	مثل الحالتين ١ ، ٢
5	B, A, I_0, $3I_0$	B, A, Z_{AB}, Z_M	Z_M هى معاوقة التمغنط $Z_{A0} = Z_M$ $Z_M >> Z_{AB}$	Z_M كبيرة جدا جدا ولذلك تعتبر $Z_{A0} = \infty$
6	B, A — الجانب B متصل بنظام مؤرض	$Z_{B'}$, Z_{AB}, Z_M	$Z_{AO} = Z_{AB} + Z_{B'}$	معنى الجانب B متصل بنظام مؤرض أى المولد أو المحول المتصل على الجانب B مؤرض. (B)
7	مثل الحالة ٦ ولكن الجانب B متصل بنظام غير مؤرض	B, A, Z_{AB}, Z_M	مثل الحالة (٥)	

8			$Z_{AO} = \infty$ مثل الحالة (٤)	الدائرة من جانب C و B مفتوحة ولذلك فالمعاوقة تساوى ∞
9			$Z_{AO} = Z_M$ مثل الحالة (٥)	$Z_M >> Z_A$ Z_M كبيرة جدا جدا ويمكن اعتبار $Z_{AO} = \infty$
10	B متصلة على نظام مؤرضه		$Z_{AO} = Z_{AB} + Z_{B'}$	الجانب C دائره مفتوحة Z'_B معاوقة التعاقب الصفرى للنظام المتصل مع الجانب B .
11	C ، B متصلتان على نظام مؤرض		$Z_{AO} = Z_A + \frac{(Z_B + Z_{B'})(Z_C + Z_{C'})}{(Z_B + Z_{B'}) + (Z_C + Z_{C'})}$	تعتبر معاوقتا الجانبين C و B متصلتان على التوازى ثم يتم جمعهما على التوالى مع Z_A .
12			$Z_{AO} = \infty$	لايوجد مسار للتيار I_o
13			$Z_{AO} = \infty$	لايوجد مسار للتيار I_o
14			$Z_{AO} = \infty$	لايوجد مسار للتيار I_o .
15			$Z_{AO} = Z_A + \frac{Z_B Z_C}{Z_{BC}}$	تعتبر C و B على التوازى ثم تجمع مع Z_A $(Z_{BC} = Z_B + Z_C)$
16			$Z_{AO} = Z_A + Z_C = Z_{AC}$	الجانب B مفتوح ولذلك تجمع Z_A ، Z_C
17			$Z_{AO} = Z_A + \frac{(Z_B + Z_{B'})(Z_C)}{Z_B + Z_{B'} + Z_C}$	$(Z'_B + Z_B)$ على التوازى مع Z_C النظام المتصل مع الجانب B مؤرض
18	مثل الحالة (١٧)		$Z_{AO} = Z_A + Z_C = Z_{AC}$	النظام المتصل مع الجانب B غير مؤرض ولذلك تم وضع $Z'_B = \infty$

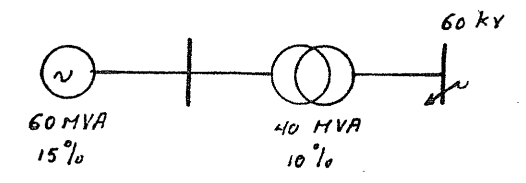
19	B a c' b' c A a' b	$Z_{aa'}$	$Z_{AO} = Z_{aa'} = Z_{BO}$	محول ذاتي متدرج
20	B a a' A	B Z_a A	$Z_0 = \infty$	النظام المتصل بالجانب B معزول لا يمر تيار I_0
21	B a a' A	B Z_b Z_a A	$Z_0 = Z_a + Z_{B'}$	النظام المتصل بالجانب B مؤرض ولذلك يمر تيار I_0
22	B b a a' A	B $Z_{B'}$ Z_{ab} A	$Z_0 = Z_{ab} + Z_{B'}$	النظام المتصل بالجانب B مؤرض
23	B a' a A	B $Z_{aa'}$ Z_M A	$Z_0 = Z_M$	Z_M معاوقة التمغطس النظام المتصل بالجانب B معزول
24	B a' a A	B $Z_{aa'}$ $Z_{B'}$ Z_M A	$Z_0 = Z_{aa'} + Z_{B'}$	النظام المتصل بالجانب B مؤرض
25	B b a' a A	B $Z_{(a+a')(b)}$ A	$Z_0 = Z_{(a+a')(b)}$	محول ذو ثلاثة ملفات النظام المتصل بالجانب B معزول
26	B b a' a Z_N A	Z_B $Z_{a'}$ Z_a $Z_{B'}$ $3Z_N$	$Z_0 = Z_a + (Z_{a'}+3Z_N)(Z_B+Z_{B'})/(Z_{a'}+3Z_N+Z_B+Z_{B'})$	محول ذو ثلاثة ملفات النظام المتصل بالجانب B مؤرض نقطة التعادل للمحول الذاتي مؤرضة من خلال Z_N .

حيث $\%Z_{eff}$ هى المعاوقة المؤثرة (Effective Impedance) وقت القصر.
لتوضيح المعادلات السابقة نعلم أن أى شبكة كهربائية مكونة من مولدات، محولات، خطوط.. بالنسبة للمولدات والمحولات تعطى المعاوقات: الموجبة والسالبة والصفرية كنسبة مئوية عند القدرة المقننة للمولد أو المحول، بينما الخطوط والكابلات تعطى المعاوقات الخاصة بها بوحدات الأوم. كما أن الشبكة تكون لها مستويات للجهود مختلفة: جهد عالى- جهد متوسط- جهد منخفض، وكذلك قدرات مختلفة للمولدات والمحولات. وعلى ذلك يجب أن توجد طريقة لتوحيد كل ذلك سواء بالنسبة للجهود- للقدرات- للمعاوقات- وعلى ذلك لاجراء حسابات تيارات القصر يجب أن تحول جميع معاوقات الشبكة، تحت الدراسة، أما إلى وحدات الأوم أو الى وحدات النسبة المئوية أو وحدات كسرية ويعتمد الاختيار على أى من طرق الحسابات سوف تختار. جدول (١٢- ١٠) يوضح طرق الحسابات.

يمكن تلخيص حساب تيار القصر كالآتى:

١- رسم خطى مفرد للشبكة المراد اجراء حسابات لها Single Line diagram
٢- أختيار MVA, KV وأعتبارهما كأساس (Base) ويرمز لهما بالرمزين MVA_B, KV_B
٣- معرفة بيانات كل معدة تحتويها الشبكة من حيث Z, MVA وتعتبر MVA, KV هما مقنن ويرمز لهما بالرمزين MVA_{rated}, KV_{rated}
٤- يتم رسم الدائرة المكافئة لكل من التعاقب الموجب والسالب أو الصفرى أو الدائرة المكافئة حسب نوع القصر.
٥- يتم أختيار الطريقة التى سيتم استخدامها لعمل الحسابات من جدول (١١- ١٠) وتتبع الخطوات من الجدول، حتى يتم حساب تيار القصر $I_{s.c}$

مثال ١



فى هذا المثال يراد حساب تيار القصر نتيجة حدوث قصر على ثلاثة أوجه على قضبان ٦٠ ك.ف.

الحل

يحتوى المثال على مولد ومحول فقط وقيم المعاوقة بالنسبة المئوية، ولذلك يتم أختيار طريقة النسبة المئوية من جدول رقم (١١- ١٠)

نختار

$$KV_B = 60 \quad , \quad MVA_B = 60$$

للمولد $Z_g\% = 15\% = Z_{gB}\% \quad (KVA_B = KVA_g)$

للمحول $Z_{TB}\% = Z\%_{rated} \dfrac{MVA_B}{MVA_{rated}}$

$$= 10\% \frac{60}{40} = 15\%$$

$$\Sigma Z_B\% = 15 + 15 = 30\%$$

$$MVA_{s.c} = \frac{100 \times MAV_B}{\Sigma Z_B\%} = \frac{100 \times 60}{30} = 200\,MVA$$

$$I_{s.c} = \frac{MAV_{s.c}}{\sqrt{3}\ KV_B} = \frac{200}{\sqrt{3}\ 60} = 1.93 \quad KA$$

جدول(١٢-١٠)

الخطـــوات	طريقة تحويل جميع المعوقات إلى وحدات أوم	طريقة تحويل جميع المعوقات إلى وحدات النسبة المئوية	طريقة تحويل جميع المعوقات إلى وحدات p.u.
١- حساب المعاوقة لكل معدة حسب الوحدات	$Z_\Omega = \frac{Z\% \, KV^2_B}{100 \, MVA_{rated}}$ حيث $Z\%$ معاوقة المعدة المئوية المراد تحويلها إلى Z_Ω	$Z\% = Z_\Omega \frac{MVA_B}{KV^2_B} 100$ $Z_B\% = Z\%_{rated} \frac{MVA_B}{MVA_{rated}}$	$Z_{pu} = \frac{Z\%}{MVA_r}$ $Z_{pu} = Z_\Omega \frac{100}{KV^2_B}$
٢- ايجاد مجموع المعاوقات المؤثرة من مكان القصر وحتى مصدر التغذية	$\Sigma Z_\Omega =$ مجموع المعاوقات المؤثرة بالأوم	$\Sigma Z\% = ...$	$\Sigma Z\% = ...$
٣- سعة قدرة القصر بوحدات MVA	$MVA_{s.c} = \frac{KV^2_B}{\Sigma Z_\Omega}$	$MVA_{s.c} = \frac{100 \, MVA_B}{\Sigma Z\%}$	$MVA_{s.c} = \frac{100}{\Sigma Z_{pu}}$
٤- تيار القصر بوحدات KA	$I_{s.c} = \frac{KV_B/\sqrt{3}}{\Sigma Z_\Omega}$ $= \frac{MVA_{s.c}}{\sqrt{3} \, KV_B}$	$I_{s.c} = \frac{MVA_{s.c}}{\sqrt{3} \, KV_B}$	$I_{s.c} = \frac{MVA_{s.c}}{\sqrt{3} \, KV_B}$

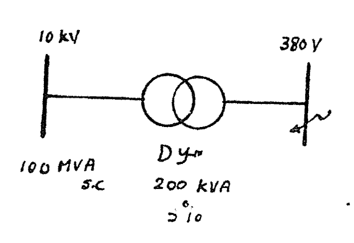
جدول(١٣-١٠)

أعلى جهد للنظام ك.ف	مستوى القصرأو القدرة الظاهرية لقصر الدائرة م. ف. أ
حتى ٢٤	٥٠٠
٣٦	١٠٠٠
٧٢,٥،٥٢	٣٠٠٠
١٢٣،١٠٠	٦٠٠٠
١٧٠،١٤٥	١٠٠٠٠
٢٤٥	٢٠٠٠٠
٣٠٠	٣٠٠٠٠
٤٢٠	٤٠٠٠٠

يجب أن يحدد العميل القدرة الظاهرية لقصر الدائرة للنظام فى مكان تركيب المحول حتى يمكن تحديد قيمة تيار قصر الدائرة المتماثل، وذلك لاستخدامها فى التصميم والأختبارات. اذا لم يحدد مستوى قصر الدائرة تستخدم القيم المعطاة فى جدول (١٣- ١٠) (المواصفات القياسية المصرية رقم ٣٣٦- ١٩٩٠)

مثال ٢

محول ٢٠٠ ك. ف. أ يغذى من شبكة كهربائية. مستوى القصر على قضبان ١٠ ك. ف يساوى ١٠٠ م.ف.أ يراد حساب تيار القصر الناتج من حدوث قصر على قضبان ٣٨٠ ڤولت، فى حالتين- قصر على الأوجه الثلاثة- قصر وجه مع الأرض.



الحل: أولا حالة قصر على الأوجه الثلاثة:

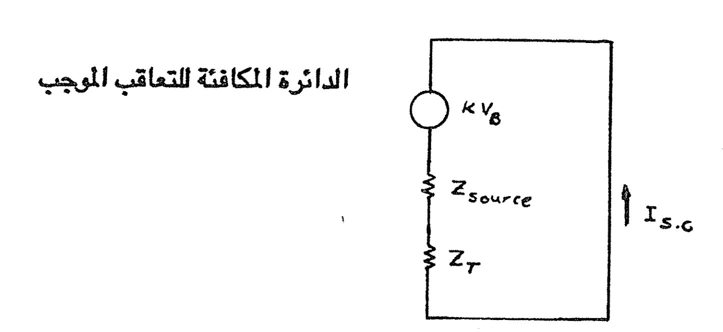
يتم أولا حساب المعاوقة المقابلة لمستوى القصر على قضبان ١٠ ك. ف، أى حساب معاوقة الشبكة المغذ ـ (المصدر)- سوف تستخدم طريقة تحويل جميع المعاوقات إلى أوم يختار $KV_B| = 0.380$

$$\text{معاوقة المصدر} = Z_{source} = \frac{KV^2_B}{MVA_{s.c}} = \frac{(0.380)^2}{100} = 0.0015\ \Omega$$

$$\text{معاوقة المحول بالأوم} = Z_{T\Omega} = Z\%\frac{KV^2_B}{MVA_{rated}} = \frac{5}{100}\ \frac{(0.38)^2}{200\times 10^{-3}} = 0.0361\ \Omega$$

$$\Sigma Z_{\Omega} = 0.0015 + 0.0361 = 0.0376\ \Omega$$

$$I_{s.c} = \frac{KV_B}{\sqrt{3}\ \Sigma Z_{\Omega}} = \frac{0.38}{\sqrt{3}\times 0.0376} = 5.85\ \ KA$$



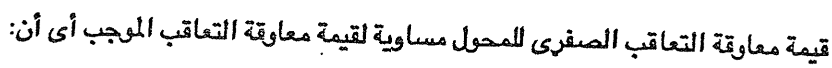
الدائرة المكافئة للتعاقب الموجب

من هذا المثال يتضح أهمية معرفة مستوى القصر للدائرة المركب عليها المحول.

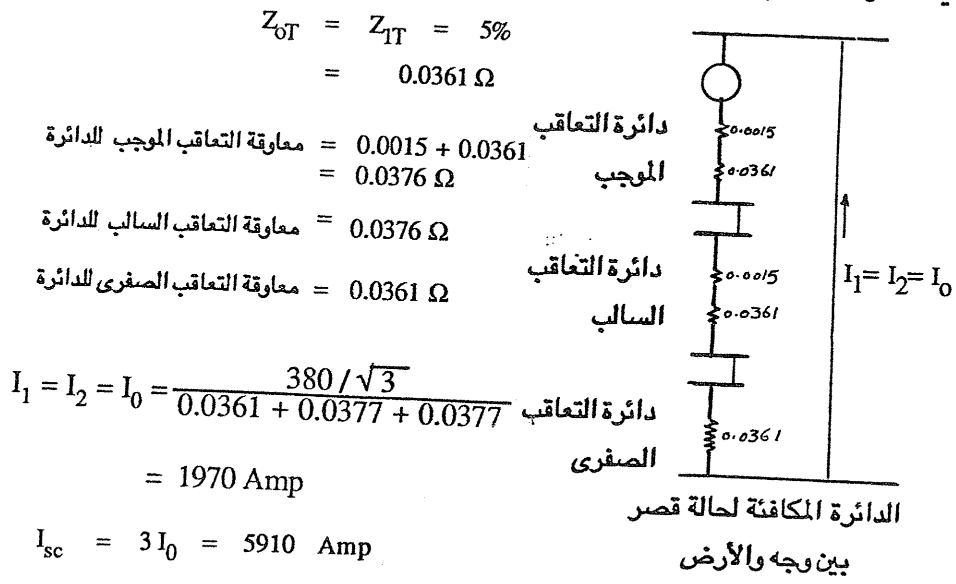
جدول (١٢- ١٠) ينص على قيم مستوى القصر طبقا للمواصفات القياسية المصرية.

ثانيا: حالة قصر على وجه واحد مع الأرض

حيث أن المجموعة الأتجاهية للمحول دلتا/ نجمة والنجمة المؤرضة مباشرة مع الأرض، فان تيار التعاقب الصفرى يمر من مكان القصر وحتى نقطة التعادل المؤرضة، ولايمر فى الجانب الآخر للمحول (مخارج الدلتا). من جدول (١٠- ١٠) توخذ



قيمة معاوقة التعاقب الصفرى للمحول مساوية لقيمة معاوقة التعاقب الموجب أى أن:



$$Z_{0T} = Z_{1T} = 5\%$$

$$= 0.0361\ \Omega$$

معاوقة التعاقب الموجب للدائرة $= 0.0015 + 0.0361$

$$= 0.0376\ \Omega$$

معاوقة التعاقب السالب للدائرة $= 0.0376\ \Omega$

معاوقة التعاقب الصفرى للدائرة $= 0.0361\ \Omega$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{380/\sqrt{3}}{0.0361 + 0.0377 + 0.0377}$$

$$= 1970 \text{ Amp}$$

$$I_{sc} = 3I_0 = 5910 \text{ Amp}$$

الدائرة المكافئة لحالة قصر بين وجه والأرض

ملحوظة

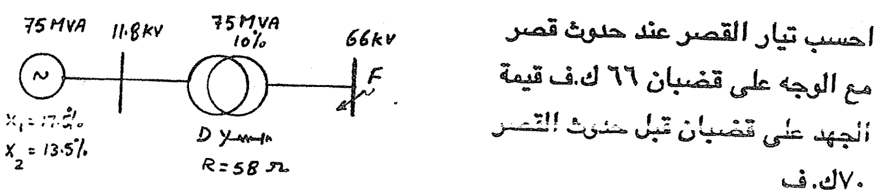
أحيانا لا يمكن معرفة مستوى القصر للقضبان المتصلة مع الشبكة الكهربائية المغذية للمحول. موضوع الدارسة – وذلك يمكن أن يفرض أن مستوى القصر يساوى مالانهاية.وفى هذه الحالة يصبح تيار القصر فى حالة قصر وجه مع الأرض

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{380/\sqrt{3}}{0.0361 + 0.0361 + 0.0361} = 2028 \text{ Amp}$$

$$I_{s.c} = 3I_0 = 6084 \text{ Amp}$$

مثال ٣

احسب تيار القصر عند حدوث قصر مع الوجه على قضبان ٦٦ ك.ف قيمة الجهد على قضبان قبل حدوث القصر ٧٠ك.ف



الحل

يختار $MVA_B = 100$, $KV_B = 66$

للمولد $X_{g1} = 0.175 \times \frac{100}{75} = 0.234$ pu

$X_{g2} = 0.135 \times \frac{100}{75} = 0.18$ pu

المحول $X_{T1} = 0.1 \times \frac{100}{75} = 0.133$ pu

مقاومة نقطة التعادل $= Z_{no} = 3Z_n = 58 \times 3 = 174\ \Omega$

$= 174 \times \frac{100}{(66)^2} = 3.99 + j\,0.0$ p.u

معاوقة التعاقب الموجب للدائرة $= j\,0.234 + j\,0.133 = j\,0.367$

معاوقة التعاقب السالب للدائرة $= j\,0.18 + j\,0.133 = j\,0.313$ p.u

معاوقة التعاقب الصفرى للدائرة $= 3.99 + j\,0.133$ p.u

x_{g_1}, x_{T_1}, x_{g_2}, x_{T_2}, x_{T_0}, Z_{n_0}, $I_1 = I_2 = I_0$

الجهد السابق على حدوث الخطأ عند F $= 70$ KV

$= \frac{70}{60} = 1.06$ p.u

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1.06}{j\,0.367 + j\,0.313 + 3.99 + j\,0.133} = \frac{1.06}{3.99 + j\,0.811}$$

$= 0.255 - j\,0.052$ p.u

$$I_{s.c} = 3I_0 = 0.765 - j0.156 \text{ p.u} = 0.781 \angle -11.30^o \text{ p.u}$$

$$= 0.781 \times \frac{MVA_B}{\sqrt{3}\ KV_B} \times 10^3 = 0.781\ \frac{100}{\sqrt{3} \times 66} \times 10^3$$

$$= 6'84 \angle -11.30^o \text{ Amp}$$

نظم أطفاء الحريق بالمحولات
Transformers Fire Fighting System

من أشد الأماكن تعرضا لمخاطر الحريق بمحطات المحولات وشبكات التوزيع، المحولات المملوءة بالزيت، وغرف المفاتيح الكهربائية، ومجارى الكابلات... ، ولكن أكثرها تعرضا هى المحولات المملوءة بالزيت، وخاصة عند حدوث دائرة قصر ونشوء قوس كهربى لخطيا، مع وجود تسرب فى الزيت، على جسم المحول، قريبا من مكان القوس، والذى يمكن أيضا حدوثه نتيجة الأحمال الزائدة. وتوجد ارشادات على شكل وثائق جيدة، لحماية مثل هذه المواقع، بالطريقة المنصوص عليها فى نظم الحرائق الوطنية، الصادرة عن الهيئة الوطنية الأمريكية للحماية من الحرائق.

تعتمد فكرة نظرية أطفاء الحريق بالمحولات على الوسائل الآتية:

- أفساد نسبة الاكسجين عند بدء الاشتعال باستخدام مادة مخمدة، مثل غاز ثانى أكسيد الكربون، أو بخار الماء (أو رذاذ المياه)، مما يقلل نسبة الأوكسجين عن الحد اللازم لا ستمرار الاشتعال (حوالى ١٥٪)، وكذلك يسبب أزاحة الأكسجين عن الجسم المحترق. بسبب أختلاف كثافة المادة المخمدة والهواء مما يؤدى الى توقف الاشتعال.
- أحكام اغلاق جميع الفتحات والأبواب فى الغرفة التى بها الحريق، بحيث لا يسمح بدخول الهواء اليها. وغالبا تترك فتحات صغيرة علوية لخروج الهواء.

يتم أطفاء الحريق أما يدويا أو آليا. وسوف نتحدث فى هذا الجزء عن أطفاء الحريق آليا، حيث تعتمد الفكرة الأساسية على تركيب رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة المحيطة بالمحول، وعند وصولها إلى الحد الخطر تبدأ فى أعطاء اشارة بوجو د حريق، كما تعمل فى نفس الوقت على أطلاق الوسط الذى سيتم أطفاء الحريق به، ويختلف هذا الوسط على حسب نوع تركيب المحول، هل هو داخل المبنى أو خارجه. فأذا كان المحول مركبا داخل المبنى يتم استخدام غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2، وهو يمتاز بانه غاز خامل لا يساعد على الاشتعال، ولا يشتعل وأثقل من الهواء، كما يمكن أستخدام الهالون، وهو غاز لا يساعد على التآكل وغير موصل، يقوم اذا ما تواجد بتركيز يبلغ حجمه ٥٪ باطفاء الحريق بوساطة تفاعل كيماوى. حيث يتفاعل مع نتاج الاحتراق المسئول من انتشار اللهب بسرعة، كما ينهى التفاعل المتسلسل للاحتراق، ويوصف غاز الهالون بانه الغاز

الذى يطفىء الحريق فى زمن أقل مما يحتاجه غاز ثانى أكسيد الكربون، أما اذا كان المحول مركبا خارج المبنى أو فى حجرات غير مقفلة من جميع الجوانب، فانه يتم استخدام مياه مدفوعة تحت ضغط، وغالبا تكون مثل الرذاذ، فيؤدى استخدامها الى خفض درجة حرارة المحول المشتعل عن درجة حرارة اشتعاله، نتيجة مشاركة واقتسام المياه الحرارة مع جسم المحول بامتصاصها، حيث درجة حرارة الجسم زائدة كثيرا عن درجة حرارة المياه، كما أن تبخر المياه يحتاج إلى كيمة كبيرة من الحرارة يمتصها من حرارة المادة المشتعلة- نتيجة ذلك تنخفض درجة حرارة جسم المحول إلى مادون درجة حرارة الأشتعال، وبذلك يتم أخماد الحريق.

أما بالنسبة للرؤوس المكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة المحيطة، فتوجد أنواع مختلفة، حيث يتم أختيار النوع على حسب حساسية القياس المطلوبة، وهل يتم قياس درجة الحرارة مباشرة أو معدل درجة الحرارة.

فيما يلى فكرة مبسطة عن نظم إطفاء الحريق، المستخدمة لاطفاء الحرائق بحجرات المحولات، بشركات توزيع الكهرباء.

١- ١١ نظام أطفاء الحريق برش المياه آليا
Automatic Water Sprinkler System

عند حدوث الحريق، يكتشف بواسطة رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة المحيطة (Heat Detector)، يتم عزل المحول عن مصدر التغذية الكهربائية عن طريق اعطاء أمر بفصل قاطعى التيار للمحول، يبدأ اندفاع المياه، على هيئة رذاذ، تحت ضغط غاز ثانى أوكسيد الكربون CO_2. ويتم أطفاء الحريق.

يتكون النظام ببساطة، كما فى شكل (١- ١١)، من:

١- رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة المحيطة (Heat Detectors)

٢- كابينة الكاشف Detection Cabinet

٣- خزان المياه Water Tank

٤- أسطوانة غاز ثانى أوكسيد الكربون CO_2 Bottle

٥- شبكة مواسير المياه Polverisation Loop Feeding Circuit

٦- كابلات غير قابلة للاحتراق Fire Proof Cable

٧- دوائر انذار الحريق Alarm

٨- صمامات Valve

٩- فوهات Nozzel

فيما يلى توضيح للمكونات الرئيسية:

١- رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحراة المحيطة.

يتم تركيب عدد من هذه الرؤوس على جسم المحول، ويعتمد هذا العدد على حجم المحول، فى شكل (١- ١١) تم استخدام عدد ٤ رؤوس، والمكتشف عبارة عن ازدواج حرارى (Thermocouples) يتكون من صفيحتين (أو أكثر) من معدنين يتأثران بارتفاع درجات الحرارة غير العادية للمحول تأثرا مختلفا، وينتج عن ذلك تمددهما واتصال طرفيهما ليوصلا دائرة كهربائية، تعمل على تشغيل أجهزة موجودة بكابنية الكاشف عن طريق أسلاك غير قابة للاحتراق. يكفى تشغيل أى كاشف لتشغيل النظام، حيث تكون الكاشفات متصلة على التوازى. والكاشف عموما بسيط جدا، سهل فى تركيبه لامكان عمل أى تغير فيه اذا أحتاج الامر، وهو مقاوم للصدمات، لا يتأثر بالاهتزازات، معالج ضد الرطوبة، والحموضة، والعوامل الجوية، كذلك غير قابل للاشتعال.

٢- كابنية الكاشف

تحتوى الكابنية على:

متمم حرارى كهربى Thermoelectric Relay يعمل مع تشغيل رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة، وهو يقوم بتشغيل جهازين مساعدين، يحتوى كل منهما على مجموعة نقط تلامس تستخدم للأغراض الآتية:

- أعطاء اشارة ضوئية تشير إلى حدوث الحريق
- أعطاء اشارة عند انقطاع مصدر التغذية الكهربائية عن النظام (١١٠ فولت تيار مستمر)
- أعطاء اشارة لفصل قاطعى التيار

شكل (٢- ١١) يوضح ذلك كله.

٣- خزان المياه

الخزان على شكل أسطوانى موضوع أفقيا، وهو مثبت على قاعدة خرسانة، ومصنوع من الصلب المجلفن- يملأ بالمياه حتى مستوى محدد، كما فى شكل (١- ١١) غالبا يحدد ضغط الاختبار وضغط التشغيل للمياه المندفعة تحت ضغط (مثلا ضغط التشغيل ٨ بار وضغط الاختبار ١٢ بار) (البار: وحدة الضغط تساوى مليون داين على السنتيمتر المربع)

يحتوى الخزان على:

- فوهة ملىء المياه مزودة بصمام Filling Orifice
- فوهة تفريغ المياه مزودة بصمام تحكم Emptying Orifice
- ماسورة موصلة لشبكة المياه
- وصلة لمبين الضغط
- فوهة توصيل CO_2

يعتمد عدد أسطوانات CO_2 على كمية المياه، أو على حجم الخزان المستخدم ويستخدم عادة ٥٠ كجم من CO_2 لحجم مياه ١,٦ متر مكعب.

ويكون الغرض من غاز CO_2 هو الحصول على رذاذ مياه تحت ضغط، يمكن استخدام أيه وسيلة أخرى للحصول على رذاذ مياه تحت ضغط.

أسلوب التشغيل:

عند حدوث الحريق، ترتفع درجة الحرارة، حتى اذا وصلت الى القيمة التى ضبطت عندها الرؤوس المكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة، تقفل دائرة المكتشف، وتعمل على تشغيل المتمم الحرارى الكهربى، وهو الذى يعطى بدوره أمرا بفصل قاطعى التيار على جانبى المحول، ويعمل على تشغيل صمام عزل (Isolating Value)، شكل (٣- ١١)، كما يعمل على تشغيل صمامى تشغيل آلى، لاعطاء الشبكة العلوية والشبكة السفلية، الموضحة فى شكل (١- ١١)، يبدأ بعدها اندفاع رذاذ المياه تحت ضغط CO_2. غالبا يصمم النظام بحيث يتم أطفاء الحريق فى حوالى دقيقة واحدة.

يتم التشغيل أما:

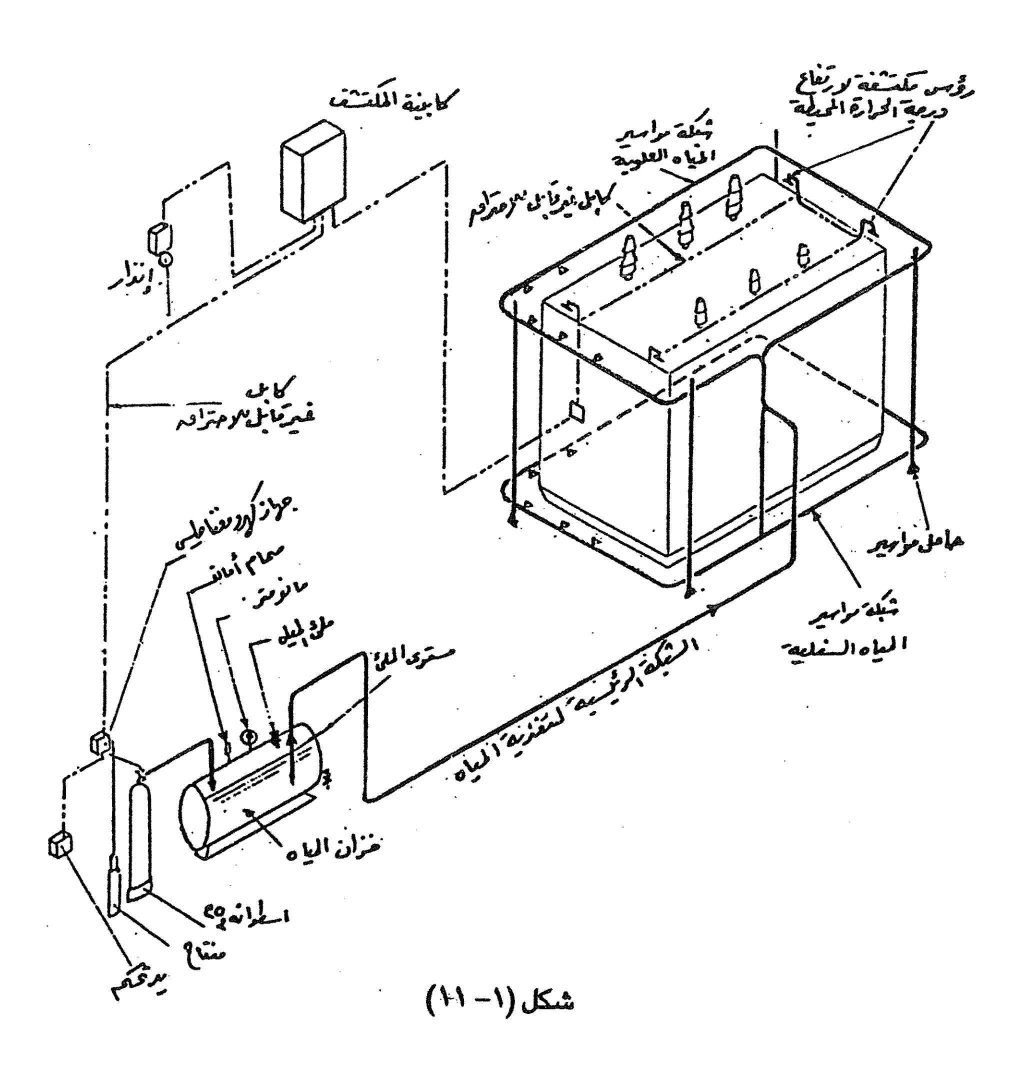
- آليا بواسطة المكتشف
- يدويا عن بعدبلوحة تحكم المحطة
- يدويا عن طريق لوحة مجاورة للمحول

٢- ١١ نظام مكافحة الحريق باستخدام غاز CO_2

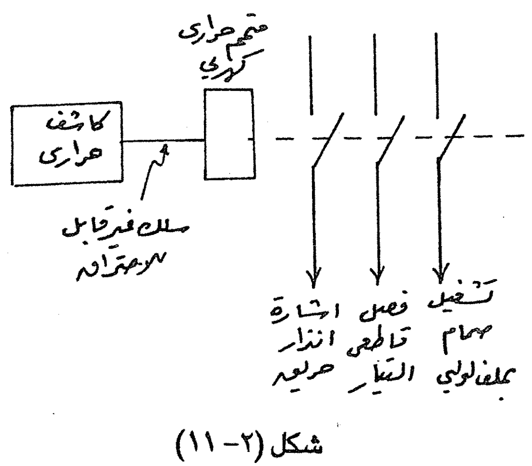
CO_2 Fire Fighting System

يتميز غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 بأنه ذو تأثير فعال فى أطفاء الحرائق، دون ترك أثار ضارة بالمعدات الموجودة.. ومن خصائصه انه لا يشتعل ولا يساعد على الاشتعال، اثقل من الهواء بحوالى ١,٥ مرة، فيتراكم على سطح المواد المشتعلة مانعا وصول اكسجين الهواء لمصدر الحريق. وعادة تكون درجة حرارة غاز CO_2 منخفضة جدا، وبالتالى فانه يعمل على انخفاض درجة حرارة المادة المشتعلة.

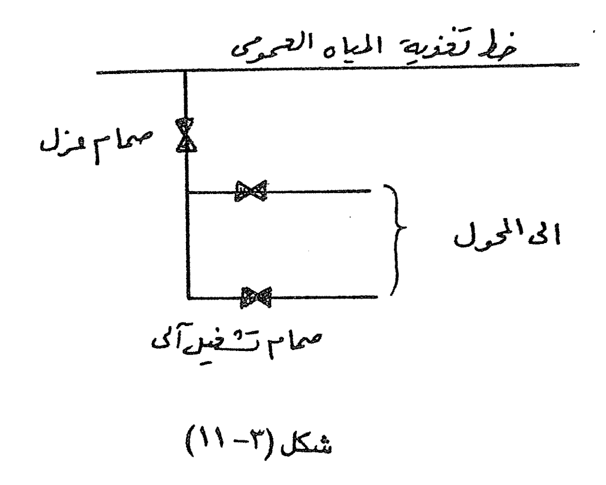
طبقا للمواصفات القياسية TGL 121-256 فان أقل كمية تستخدم من غاز


كابينة المكتشف
إنذار
كابل غير قابل للاحتراق
كابل غير قابل للاحتراق
شبكة مواسير المياه العلوية
رؤوس مكتشفة لارتفاع درجة الحرارة المحيطة
حامل مواسير
شبكة مواسير المياه السفلية
الشبكة الرئيسية لتغذية المياه
جهاز أوتوماتيكي
صمام أمان
مانومتر
ملء المياه
مستوى الماء
خزان المياه
اسطوانة CO_2
مفتاح
يد تحكم

شكل (١-١١)



شكل (٢- ١١)



شكل (٣- ١١)

CO_2 لاطفاء الحريق تعتمد على حجم المكان أو الحجرة الموجود بها المحول، فيحتاج كل متر مكعب الى ٢ كجم من غاز CO_2.

توجد نظم مختلفة لاطفاء الحريق باستخدام غاز CO_2، سنذكر فكرة مبسطة عن أحد هذه النظم، وهو النظام الألمانى الغربى المستخدم لمكافحة الحريق المحولات المركبة داخل المبنى.

يتكون النظام من:

١- رؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحراة المحيطة عبارة عن مفاتيح حرارية (Thermo- Switches or Variable Link)

٢- كابينة تحكم

٣- اسطوانات غاز CO_2

٤- شبكة مواسير غاز CO_2 بالاضافة الى فوهات

٥- صمامات

شكل (٤- ١١) يوضح شبكة تغذية مواسير غاز CO_2 من اسطوانات الغاز، مروراً بصمام اتجاهى، ثم إلى شبكة مواسير توزيع غاز CO_2 - كذلك يوجد بكل غرفة عدد ٨ فوهات لخروج غاز CO_2

شكل (٥- ١١) يوضح حجرة التحكم واتصالها برؤوس مكتشفة للارتفاع فى درجة الحرارة. كذلك يلاحظ وجود زر ضاغط (Push Button) بجوار باب حجرة المحول، يمكن تشغيل النظام عن طريقة يدويا.

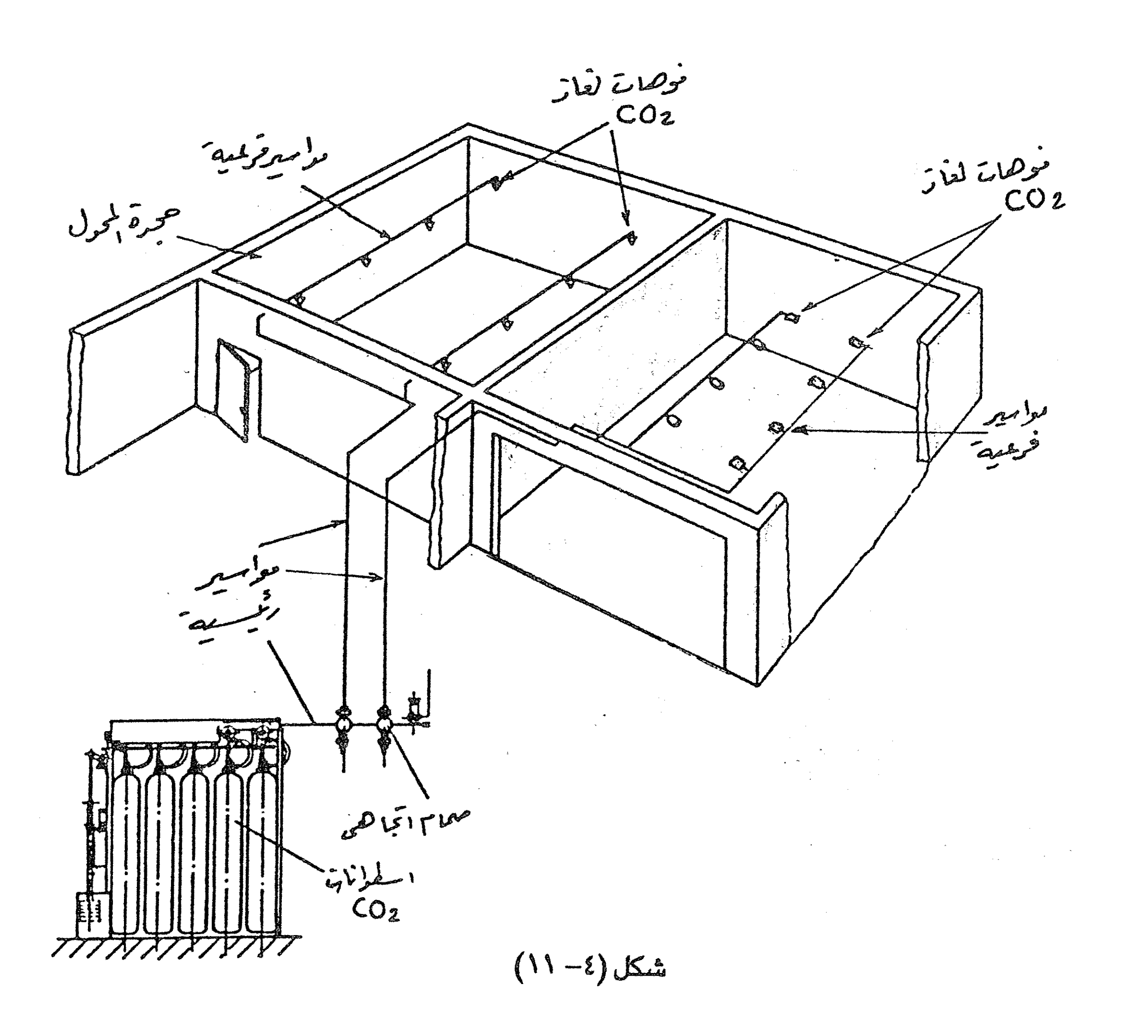
عند أرتفاع درجة حرارة الغرفة، نتيجة وجود حريق مثلا، يتم عن طريق المفاتيح الحرارية (Thermo - Switches) نقل طرف كهرباء لتشغيل جهاز فى لوحة التحكم.، وعن طريقة يتم تشغيل الملف Solenoid، الذى يعمل بدوره على تشغيل الحركة الميكانيكية لانطلاق الغاز من اسطوانات CO_2.

فى نفس اللحظة يتم تشغيل انذار صوتى لتنبيه العاملين بحدوث حريق فعند تفريغ غاز CO_2 يجب أن تغلق جميع الابواب - الشبابيك ولكن تترك فتحات فى أعلى الحجرة لخروج الهواء.

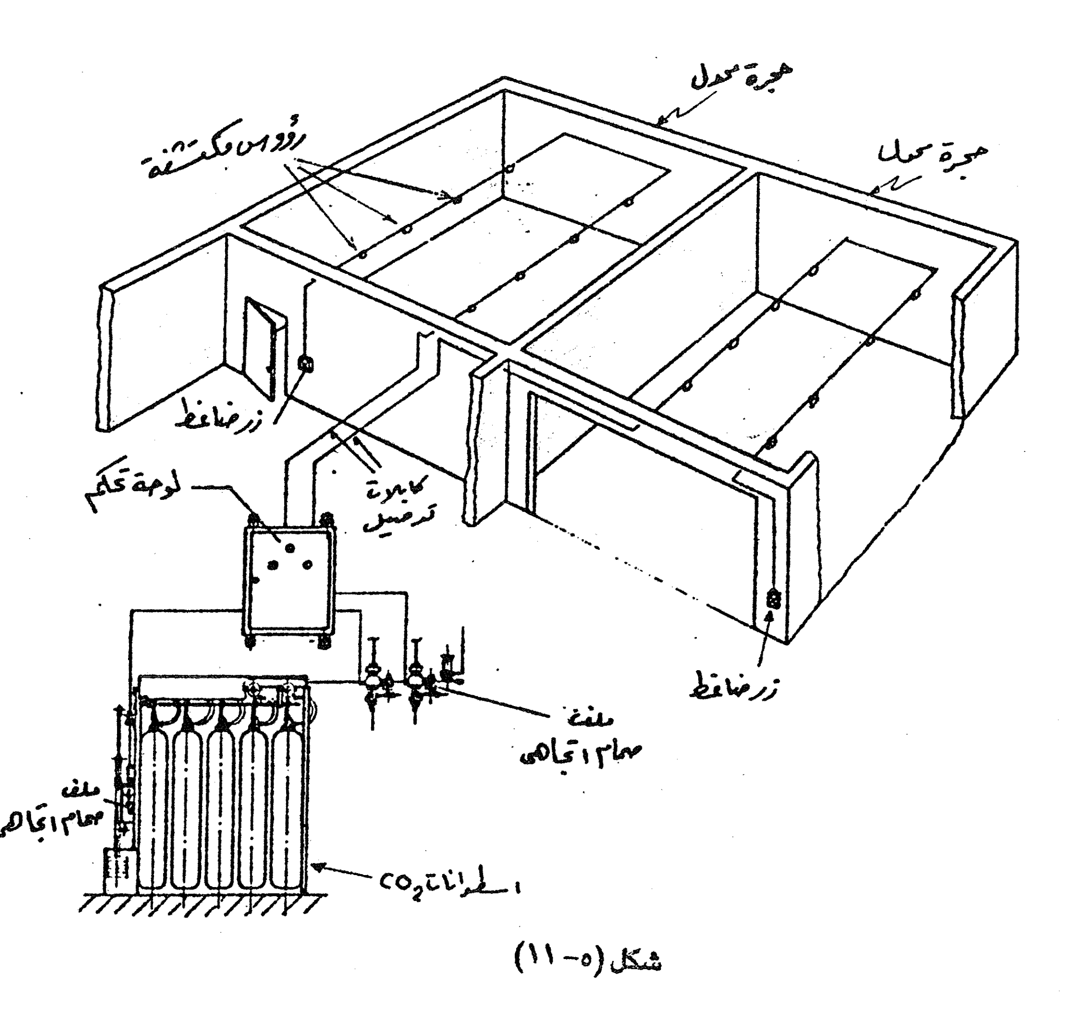
ويلاحظ أنه يوجد تأخير زمنى من لحظة تشغيل الانذار، وحتى انطلاق غاز CO_2، لكى يمكن أخلاء المكان من الأشخاص وغلق الابواب. هذا الزمن يمكن ضبطه بين ١- ٤٢ ثانية.

بعد أنتهاء أطفاء الحريق يجب مراعاة الآتى:

- عدم دخول غرفة المحول قبل عمل التهوية الكافية.
- التنبة لمخاطر الحريق.
- يتم رفع اسطوانات CO_2 الفارغة، وتملأ بالمصنع.


فوهات لغاز
CO2
مواسير فرعية
حجرة المحول
فوهات لغاز
CO2
مواسير
فرعية
مواسير
رئيسية
صمام ٣ اتجاهى
اسطوانات
CO2

شكل (٤- ١١)


حجرة محول
حجرة محول
رؤوس مكتشفة
زر ضاغط
كابلات توصيل
لوحة تحكم
زر ضاغط
ملف صمام اتجاهي
ملف صمام اتجاهي
اسطوانات CO_2

شكل (٥-١١)

محولات الأفران
Furnace Transformers

تخضع محولات الافران لحالات تشغيل معينة منها:

- مرور تيارات عالية بالمحولات
- تغييرات كبيرة جدا فى الجهد
- قيمة جهد دائرة القصر صغيرة
- التعرض للاختلاف الكبير فى قيم التيار
- التعرض لجهود مرتفعة نتيجة قطع القوس الكهربى

توجد أكثر من طريقة لتوصيل محولات الفرن منها:

١- طريقة سكوت (Scott - Connection)

تستخدم هذه الطريقة لتشغيل الأفران ثنائية الوجه (Two Phase Furnaces) التى تتم تغذيتها من مصدر ثلاثى الأوجه، حيث يتم استخدام محولين أحاديى الوجه، لهما نفس القدرة، وتكون ملفات الجهد الابتدائى لهما مختلفة، بينما ملفات الجهد المنخفض متساوية فى شكل (١- ١٢) تمثل الخطوط AB, BC, CA جهود توصيلة دلتا لنظام ثلاثى الأوجه، بينما الخطوط AN, BN, CN تمثل جهود توصيلة نجمة. اذا مد الخط AN حتى S فان AS تكون متعامدة على الخط BC، وتساوى ٨٦٦, ٠ من قيمة BC. يمكن اعتبار أن AS, BC يمثلان الملفين الابتدائيين لمحولين أحاديى الوجه، النسبة بين عدد الملفات فيهما ٨٦٦, ٠ (حيث تمثل هذه النسبة جتا ٣٠°) بينما b_1b_2, a_1a_2 يمثلان الملفين الثانويين المتساويين فى عدد اللفات. يسمى أحد المحولين بالمحول الرئيسى (Main Transformer) (CB/b_1b_2)، والمحول الثانى بمحول المضايق (Teaser Transformer)، كما فى شكل (٢- ١٢)

تمثل كل من A, B, C أطراف الجهد العالى، N نقطة التعـادل، والنهـايات a_1a_2, b_1b_2 تمثلان وجهين لتشغيل الأفران.

٢- استخدام محول تعزيز (Booster Transformer)

كما فى شكل (٣- ١٢) يستخدم محول رئيسى يحتوى على ثلاثة ملفات: ملف الجهد العالى، ملف نقط التقسيم، ملف ثانوى، ومحول تعزيز يحتوى على ملف ابتدائى يتم توصيلة على التوازى مع مخرج ملف نقط التقسيم للمحول الرئيسى، وملف توالى يتم توصيلة على التوالى مع الملف الثانوى للمحول الرئيسى.

يمكن الى جانب ما سبق استخدام محولات أفران القوس ثلاثية الأوجه، حيث يتم توصيل الملفات الابتدائية اما دلتا أو نجمة، على حسب قيمة الجهد المطلوب لعمليات الانصهار، وتحتوى الملفات الثانوية على نقط تقسيم، يتم تغييرها فى حالة اللاحمل، على قيم متعددة لملفات الجهد الثانوى (بين ٨٠ الى ٥٠٠ ڤولت مثلا)، وتكون هذه الملفات الثانوية موصلة عادة دلتا . تصمم محولات الأفران بحيث تتحمل حالات قصر الدائرة المتكررة خلال عمليات الانصهار، وأحيانا يضاف ملف حثى (Reactor) بين محول الفرن وقاطع التيار، للحد من قيم تيارات القصر. كذلك تتحمل قواطع التيار الفصل والتوصيل المتكرر أثناء عمليات تغيير خطوة المحول. ويجب أن يكون مستوى القصر عند موضع توصيل الفرن بالشبكة الكهربائية مناسبا للمعدات الكهربائية المستخدمة، ويمكن الاسترشاد بهذه العلاقة:

مستوى القصر (م. ف. أ) = ثابت (k)x٨٠ ×قدرة محول الفرن.

يعتمد الثابت k على عدد الأفران المستخدمة، الثابت يساوى ١ فى حالة استخدام فرن واحد، ويساوى ١,٢ فى حالة استخدام فرنين، ويساوى ١,٣ فى حالة أستخدام ثلاثة أفران.....، وهكذا .

فمثلا فى حالة فرن ذى قدرة ٥ م. ف. أ، يتم توصيل فرن واحد معه، ويكون مستوى القصر لمصدر التغذية عند مكان تركيب الفرن = ١ × ٨٠× ٥ = ٤٠٠ م. ف. أ.

شكل (٤- ١١) يوضح محول قدرة يستخدم لأفران القوس. مقنناتة كالآتى:

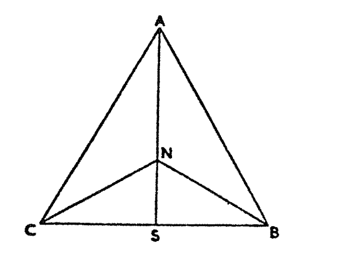
القدرة: ٨٠ م. ف. أ

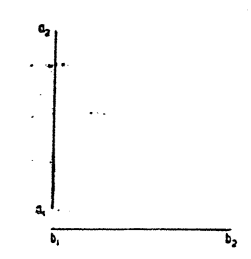
الجهد الأبتدائى: ٢٠ ك. ف

الجهد الثانوى: ٢٥٠ - ٧٥٠ ڤولت

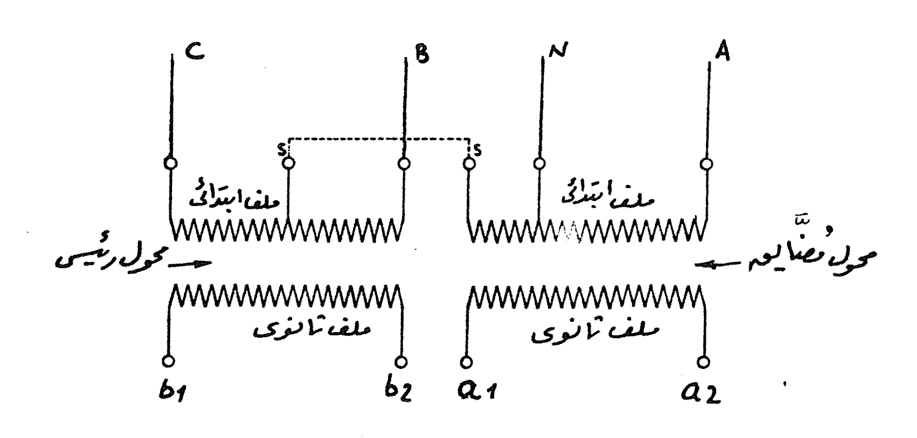
نظام التبريد: الزيت داخل الخزان كتبريد طبيعى، بالاضافة إلى نظام تبريد مياه خارجى.

المحول أنتاج شركة Alsthom

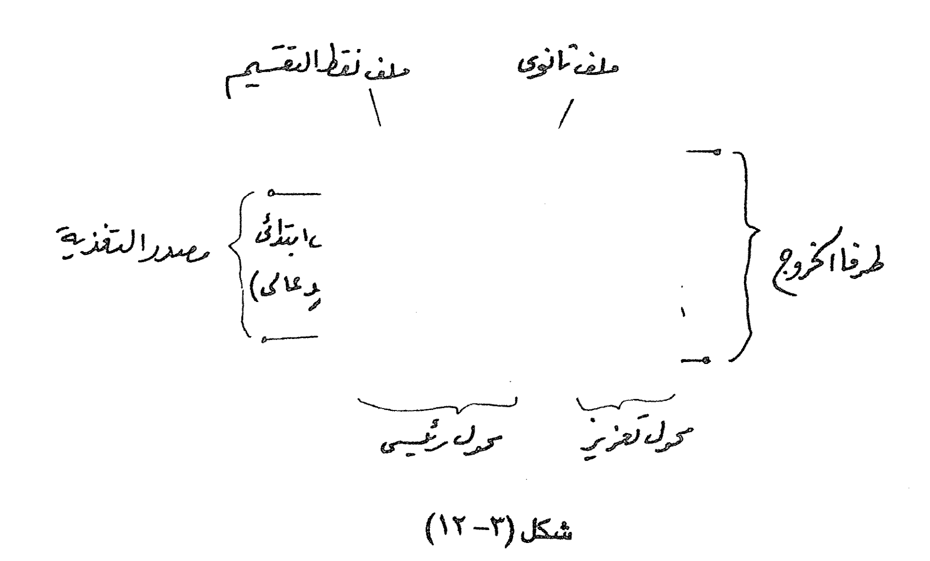




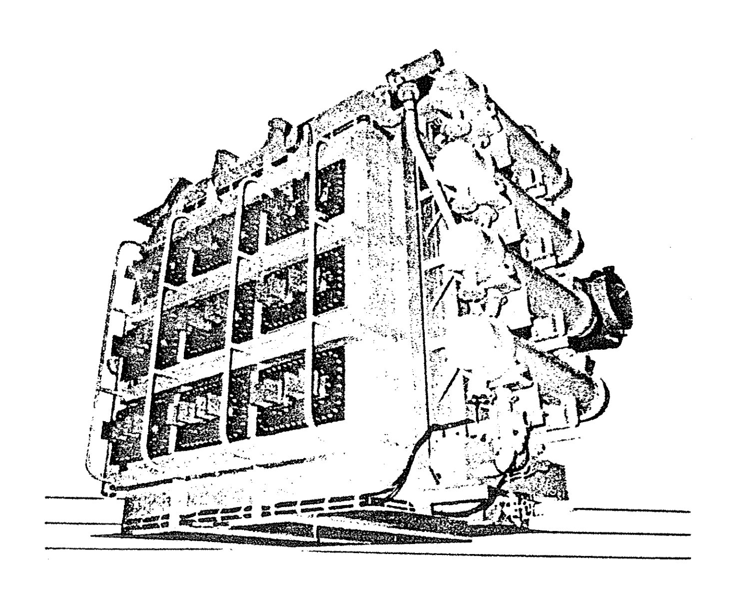
شكل (١- ١٢)



شكل (٢- ١٢)



شكل (٣- ١٢)



شكل (٤- ١٢)

المانعـــــــات
Reactors

يوجد أنواع مختلفة من المانعات (ملف حثى أساسا) تستخدم فى الشبكات الكهربائية، حيث يستخدم كل نوع لغرض معين، ومن هذه الأنواع:

أ- ممانع حد التيار أو مما
Curr
or Se

ب- ملفات اخماد القوس ... ر الأرضى
Arc Suppression (... ınd Fault Neutralizers

حـ- ممانع توازى أو مما
Shunt Reactor or Compensation Reactor

يتم توصيل ممانع التوالى على التوالى مع خط القدرة الكهربائية، وذلك للحد من قيمة تيارات القصر، وبالتالى تخفيض قيمة سعة مستوى القصر.

الملفات الموضوعة بين نقطة التعادل، لملفات محول القدرة، والأرض تساعد فى أخماد القوس الأرض، وقد تعرضنا لهذا فى الفصل السادس – الباب الأول – الجزء الأول بكتاب المحولات الكهربائية.

يتم توصيل ممانع توازى على التوازى مع خط القدرة الكهربائية لامتصاص أو تعويض القدرة غير فعالة.

١- ١٣ ممانع حد التيار أو ممانع توالى
Current Limiting Reactor or Series Reactor

يتكون المانع من ملف حثى (Inductive Coil) له معاوقة حثية عالية (wL) ، ويستخدم للحد من قيمة تيار القصر، الذى يجب أن يناسب سعة القطع لقواطع التيار المستخدمة. بفرض أن x هى المعاوقة الحثية للخط، E قيمة جهد مصـــدر التغذية فـان قيمة تيار القصر I_{sc} يساوى $\frac{E}{x}$ بفرض أهمال مقاومة الخط كما فى شكل (١- ١٣)، عند أضافة ممانع على التوالى مع الخط، فان قيمة x المكافئة تكون أكبر من قيمة x للخط، وبالتالى فان تيار القصر ينخفض.

ومن ذلك يتضح أن الغرض من أستخدام ممانع توالى:

١- الحد من تيارات القصر، لحماية المعدات الكهربائية ضد الاجهادات الميكانيكية

والحرارية الزائدة.

٢- للحد من التأثيرات، الناتجة من حدوث دائرة قصر، فى الجزء العاطل من الشبكة.

٣- الحد من اضطرابات الجهد الناتجة اثناء دائرة القصر.

٤- عند أضافة توسعات بمحطة كهرباء معينة يضاف ممانع لتقليل مستوى قدرة القصر.

أصبح من الشائع حديثا أضافة ممانع للفات المولدات والمحولات الكبيرة، وذلك لتلافى الاحتياج إلى أضافة ممانع خارجى، لحد من قيمة تيارات القصر.

يتكون الممانع من عدد قليل من اللفات مصنوعة من ألواح من النحاس الثقيل (Heavy Copper Strips)، ويتم صب خرسانة على الممانع لتصبح مقاومة للاجهادات العالية الناتجة من مرور تيارات القصر.

حيث أن الغرض الأساسى من المانعة هو حد قيمة تيارات القصر، فانه يجب ألا تقل قيمة معاوقة المانعة أثناء مرور تيارات القصر، أى يجب أن تظل النفاذية المغناطيسية (Permeability) للقلب الحديدى ثابتة، وهذا يستدعى استخدام قلب حديدى ذى مقطع كبير جدا، ويكون ذلك مكلفا جدا. لذلك يستخدم ملف بدون قلب حديدى، وهو ما يعرف بملف ذى قلب هوائى، (Air Cored Coil) وتصبح معاوقة المانع فى هذا الحالة ثابتة أثناء مرور تيارات القصر ولو أنه عمليا تزيد قيمة المعاوقة بأرتفاع قيمة التيار.

يوجد نوعان من ممانعات التوالى هما:

١- ممانع ذو قلب هوائى من النوع الجاف Dry Type Air Cored Reactor

هو عبارة عن ملف ذى قلب هوائى - تكون ممانعة ثابتة، ويبرد بالهواء المحيط، كما أنه يجب ألا يحاط بأى هيكل يتكون من دوائر معدنية مغلقة، حيث أن الفيض المغناطيسى المحيط بالملف يسبب سخونة الهيكل ومكوناته.

ويستخدم النوع الجاف للجهود حتى ٣٤,٥ ك. ف، ويراعى أن تكون أقصى درجة عزل متاحة للغرفة الموضوع بها الممانع بأن تكون واسعة بالكفاية، بحيث يكون خلوص الجانبى (Side Clearance) لا يقل من $\frac{1}{3}$ القطر الخارجى للملف، بينما يكون خلوص الطرف (End Clearance) لا يقل عن $\frac{1}{2}$ القطر الخارجى للملف، واذا احتاج الأمر تضاف مراوح للتبريد.

٢- ممانع ذو قلب هوائى من النوع المغمور فى الزيت محجوب أو

غير محجوب مغناطيسيا:

Oil Immersed Air Cored Reactor, Magnetically Shielded or Without Shield

يتم وضع الملف داخل خزان مملوء بالزيت، وتوضع أسطوانة من الالمونيوم بين الملف والخزان، وذلك لتعادل الفيض الناتج من التيارات التأثيرية الحادثة (Induced Current)، والفيض الناتج من التيار المار بالملف.

يستخدم هذا النوع لجميع الجهود، ويمكن أن يركب داخل أو خارج المبنى ومن مميزات هذا النوع:

- معامل أمان مرتفع ضد قفز الوميض (Flashover)
- لا يوجد مجال مغناطيسى خارج الخزان يسبب حرارة زائدة، أو قوى مغناطيسة.
- سعة حرارية عالية (High Thermal Capacity)

المانعات القياسية Reactor Standard

جدول (١- ١٣) يوضح أختبارات العزل القياسية للممانعات - النوع الجاف حيث يستخدم درجة العزل B. أقصى أرتفاع درجة حرارة، باستخدام القياس بوساطة معاوقة، وعند تيار حمل كلى مستمر، تكون ٨٠°م.

المانـــــع مصمم ميكانيكيا وحراريا بحيث لا يزيد التيار عن $\frac{١}{٣}$ ٣٣ مرة (٣٪ أنخفاض جهد نسبى ٪ $\frac{I}{V}$ على الممانعة) من تيار الحمـــل الكلى العـادى لمدة خمسة ثوانى أثناء حدوث القصر.

عند توصيف ممانع يجب أن تؤخذ هذه النقاط فى الأعتبار:

١- هل يكون التركيب داخل أو خارج المبنى

٢- هل هو من النوع الجاف أو الزيتى

٣- هل يكون أحادى الوجه أو ثلاثى الأوجه

٤- قيمة ممانعة المفاعل بالأوم

٥- التيار المقنن بالأمبير

٦- قدرة المفاعل ك. ف. أ

٧- درجة العزل (على حسب الجهد)

٨- الشبكة الكهربائية التى سيتم تركيب المفاعل بها:

- أحادية أو ثلاثية الأوجه
- قيمة التردد

- الجهد
- نوع موصلات الشبكة

من الأغراض الهامة أيضا بالنسبة لاستخدام الممانع، أنه يستخدم فى محطات أفران القوس (Arc Furnace)، ويكون الغرض منه حد تيار القوس، ويتم توصيله على الدائرة الابتدائية لمحول الفرن.

مثال

يراد حساب قيمة الممانع اللازم أضافته للحفاظ على مستوى قدرة القصر لقاطع التيار، وذلك عند التعديل باضافة محول جديد، كما فى شكل (٢- ١٣)

قدرة الفصل لقاطع التيار المستخدم أصلا = ١٠٠ م. ف. أ

قدرة الفصل اللازمة عند التغذية من المحول المستخدم بعد التعديل

$$= \frac{\text{م. ف. أ}}{Z\%} \times ١٠٠ = \frac{١٠}{٥} \times ١٠٠ = ٢٠٠ \text{ م. ف. أ}$$

وهذا يعنى أنه للحفاظ على مستوى قدرة القصر حتى ١٠٠ م. ف. أ، يلزم اضافة ممانع بقيمة ٥٪، وعلى ذلك تصبح الممانعة الكلية، الناتجة من الممانع المضاف وممانعة المحول، مجموعتين معا عبارة عن ١٠٪.

أماكن تركيب مفاعلات التوالى

شكل (٣- ١٣) يوضح أماكن تركيب ممانعات التوالى حيث:

شكل (أ) تمت أضافة ممانع على التوالى مع المولد.

شكل (ب) تمت أضافة ممانع على التوالى مع القضبان الرئيسية.

شكل (حـ) تمت أضافة ممانع على التوالى مع مغذيات الخروج.

شكل (د) تمت أضافة ممانع على التوالى بين قطاعى قضبان رئيسية

٢- ١٣ ممانع توازى Shunt Reactor

يتكون الممانع من ملفات من نوع قرصى أو مسطح (Disc or Flat Type)، تكون معزولة بثغرات هوائية ومثبتة بأوتاد من مادة عازلة. ترتب الرقائق المغناطيسية للملفات المسطحة اشعاعيا. تمسك هذه المكونات معا عن طريق راتنجات بلمرة (Polymerized Resin) وبواسطة ماسك محورى قوى، وهو الذى يساعد على مسك الفك والساق معا أيضا. التجميع بهذه الطريقة يقلل المفقودات الناتجة من الحث المغناطيسي، والاهتزازات الناتجة من ارتفاع قيمة الممانعة. عموما تكون الملفات عبارة

عن طبقات طويلة (Long Layers).

عادة يكون الخزان اسطوانى من النوع (Bell Type)، يحتوى على حاجبات أو دروع مغناطيسية (Magnetic Shields) لحماية المانع ضد ارتفاعات درجات الحرارة الناتجة من التيارات الاعصارية (Eddy Currents). يبرد المانع عن طريق مشعات أما متصلة بالخزان مباشرة، أو منفصلة عنها. يحتوى المانع على جميع المساعدات، مثل محول القدرة التقليدى، مثل جهاز الوقاية الغازية – ترمومتر – محول تيار- عوازل أختراق. ولكن لا يحتوى المفاعل على نقط تقسيم (Tapping).

عادة تكون قيمة المعاوقة الحثية للمانع ثابتة، ولكن تنخفض قيمتها الفعلية عند ارتفاع قيمة الجهد لقيمة اكبر من قيمة الجهد المقنن. فيما يلى أمثلة ممانعات التوازى انتاج شركة (Alsthom)

شكل (٤– ١٣) يوضح ممانع أحادى الوجه مقننانة كالآتى:

التبريد: نظام ONAN (تبريد زيت طبيعى – هواء طبيعى)

يحتوى على عدد ٤ مشعات (Rediators)

القدرة: ٥٠ م. ڤار (مجاڤار Maga ver)

الجهد: ٥٥٠/ $\sqrt{3}$ ك. ف

التردد: ٥٠ هرتز

قيمة المعاوقة: ٢٠١٦ أوم

الخزان: اسطوانى

شكل (٥– ١٣) يوضح ممانع أحادى الوجه مقننانة كالآتى:

التبريد: ONAN (تبريد زيت طبيعى – هواء طبيعى) يحتوى على عدد ٢ مشعات.

القدرة: ٣٢ م. ڤار

الجهد: ٣٤٥/$\sqrt{3}$ ك. ف

التردد: ٦٠ هرتز

قيمة المعاوقة: ١٢٤٠ أوم

الخزان: اسطوانى

شكل (٦– ١٣) يوضح ممانع ثلاثى الأوجة مقننانة كالآتى:

التبريد: ONAN (تبريد زيت طبيعى – هواء طبيعى) يحتوى على مشعات معزولة

القدرة: ٤٥ م. ڤار

الجهد: ٣٣ ك. ف

التردد: ٥٠ هرتز

قيمة المعاوقة: ٢,٢٤ أوم/وجه

الخزان: اسطوانى - مزود بصندوق نهاية الكابلات

شكل (٧- ١٣) يوضح ممانع توالى ثلاثى الاوجه، قبل وضعه داخل الخزان، محجوب مغناطيسيا، مقننانة كالآتى:

القدرة: ٣٠ م. ف. أ

الجهد: ١١ ك. ف

التردد: ٥٠ هرتز

المعاوقة: ١٦٪ - أنتاج انجليزى

شكل (٨- ١٣) يوضح ممانع توالى ثلاثى الأوجه ذو قلب هوائى مقننانة كالآتى:

القدرة: ٢٠ م. ف. أ

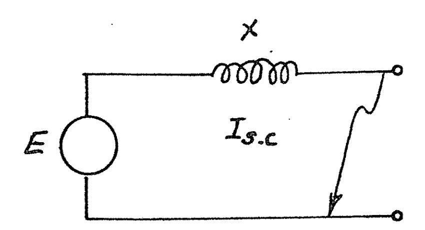
الجهد: ١١- ٦,٦ ك .ف

التردد: ٥٠ هرتز

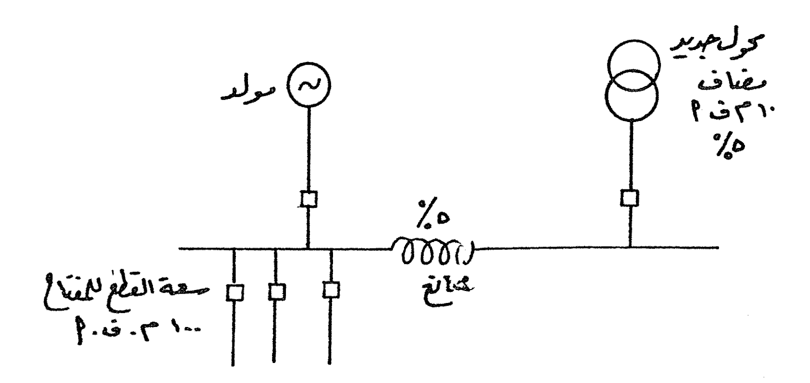
المعاوقة: ٤٪ - أنتاج انجليزى

جدول(١-١٣)

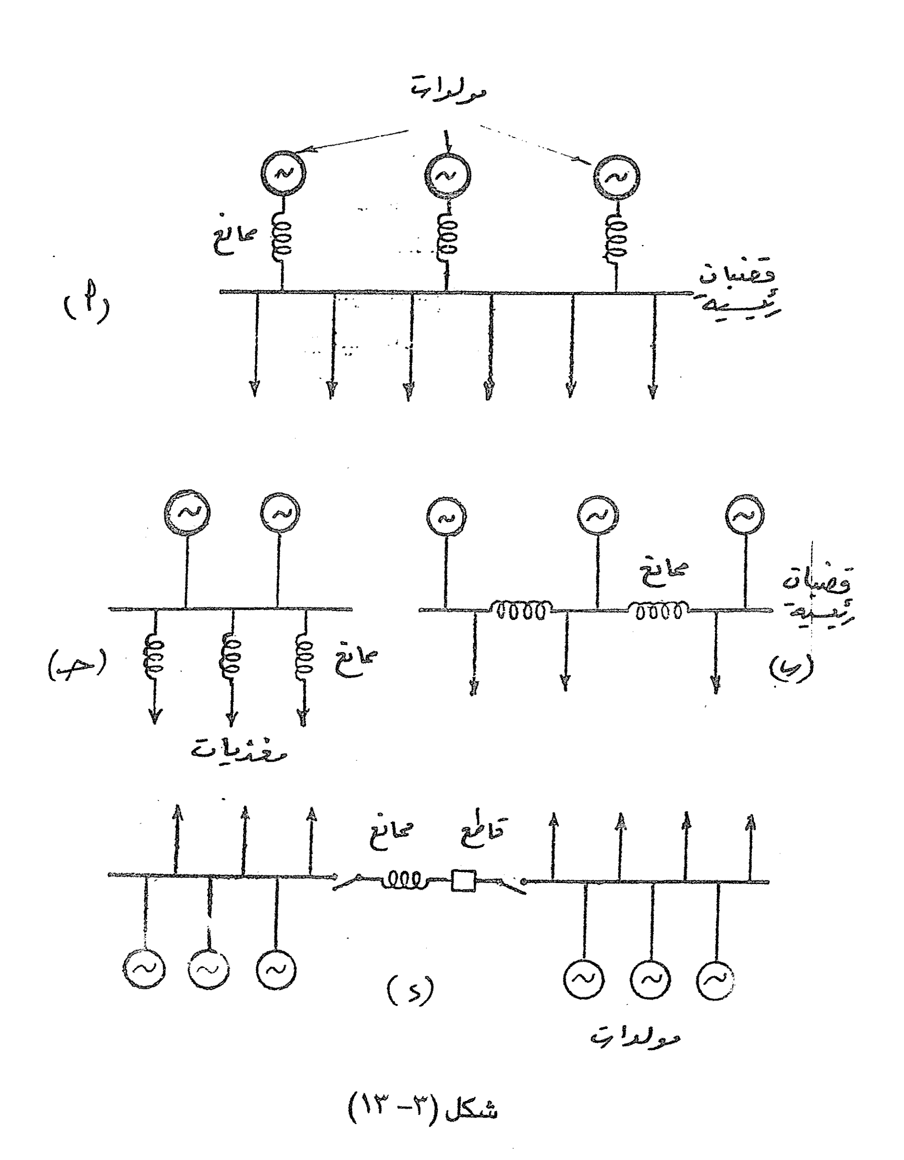
درجة العزل ك ف	اختبار التردد المنخفض		اختبارات النبضة (النوع الزيتى)		
	النوع الزيتى ك ف	النوع الجاف ك ف	موجة مقطعة		موجة كاملة ك. ف
			القيمة القصوى ك ف	أقل زمن لقفز الوميض مللى ثانية	
٢٣	٦٠	٨٥	١٧٥	٣	١٥٠
٣٤,٥	٨٠	١١٥	٢٣٠	٣	٢٠٠
٤٦	١٠٥	—	٢٩٠	٣	٢٥٠
٦٩	١٦٠	—	٤٠٠	٣	٣٥٠
١٣٨	٣١٠	—	٧٥٠	٣	٦٥٠
٢٣٠	٤٨٥	—	١٢١٠	٣	١٠٥٠
٣٤٥	٦٩٠	—	١٧٨٥	٣	١٥٥٠



شكل (١- ١٣)

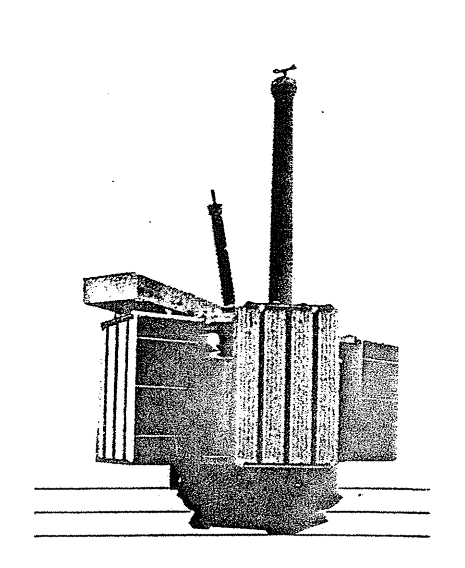


شكل (٢- ١٣)

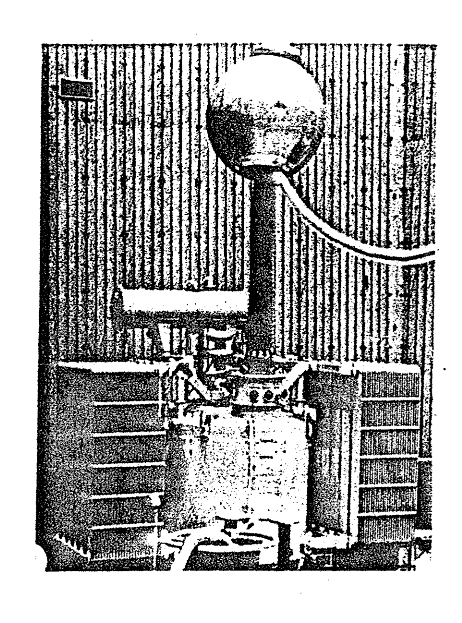


مولدات
ممانع
قضبان رئيسية
(أ)
ممانع
قضبان رئيسية
(ب)
ممانع
(جـ)
مغذيات
ممانع
قاطع
(د)
مولدات

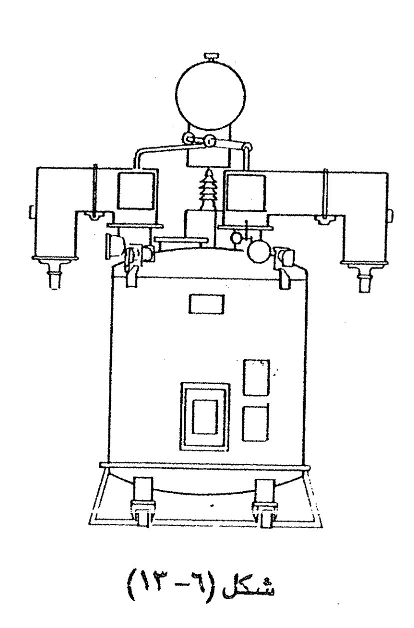
شكل (٣- ١٣)



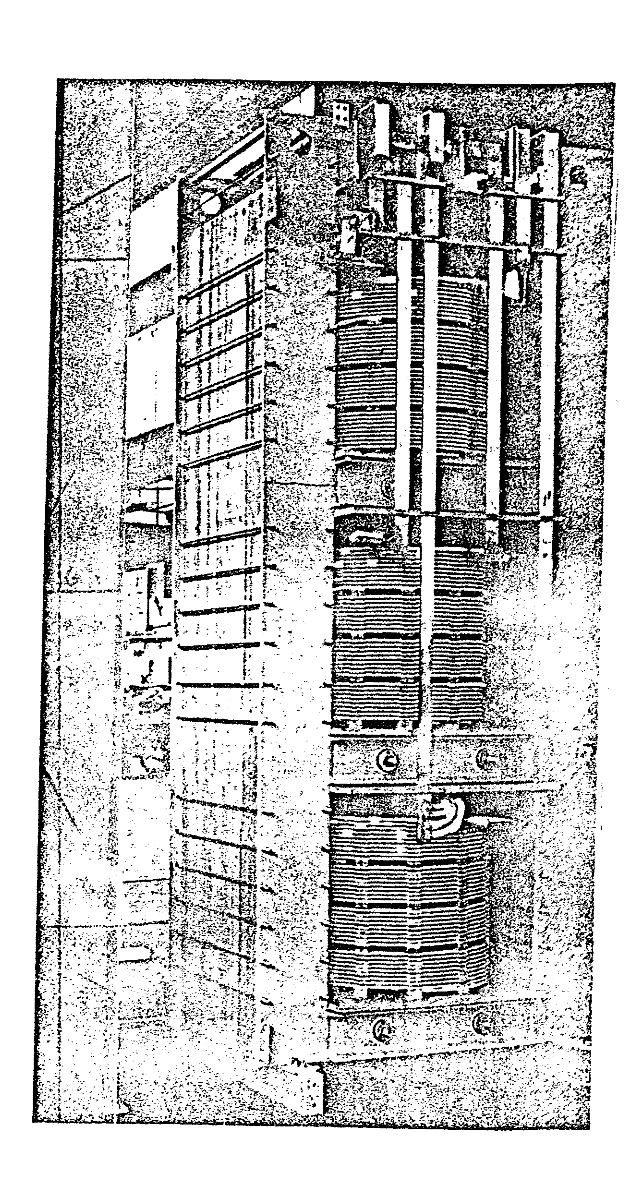
شكل (٤- ١٣)



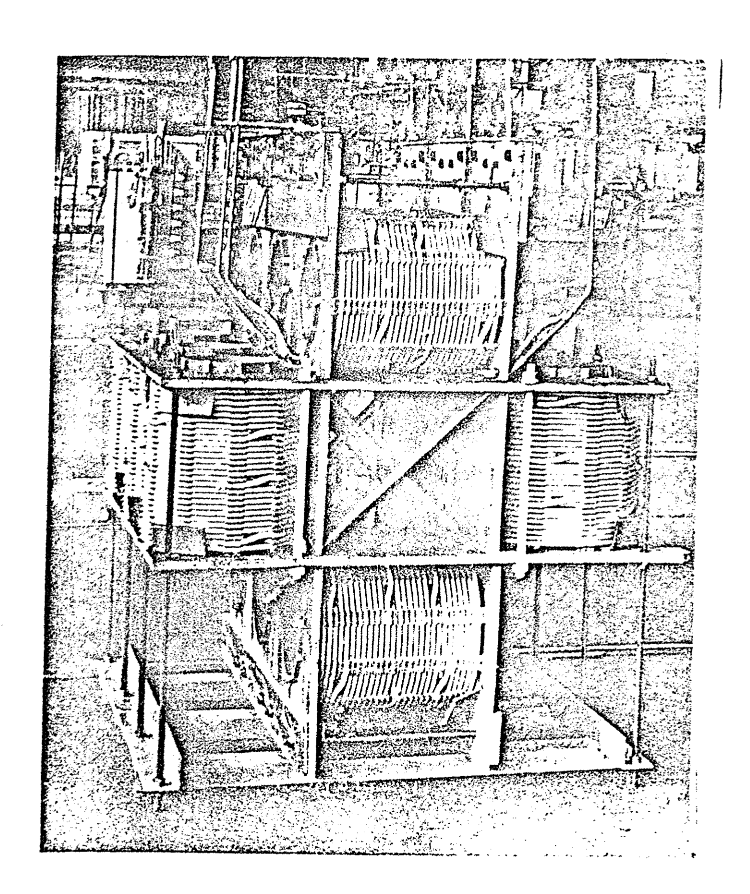
شكل (٥- ١٣)



شكل (٦- ١٣)



شكل (٧- ١٣)



شكل (٨-١٣)

ملحــــــق (١)

لوحة بيانات المقننات

يزود كل محول بلوحة بيان للمقننات (Name Plate) مصنوعة من مادة تتحمل العوامل الجوية المختلفة، رطوبة - أملاح - أتربة ..، تكتب فى مكان واضح بواجهة المحول، وتكون الكتابة على اللوحة من النوع المحفور بحيث لا تمحى، وهذه البيانات هى:

- نوع المحول (ذاتى - تعزيز- تنظيم)
- رقم المواصفات
- رسم المنتج
- رقم مسلسل خاص بالمنتج
- سنة الانتاج
- عدد الأوجه
- القدرة المقننة
- التردد المقنن
- الجهود المقننة
- التيارات المقننة
- المجموعة الاتجاهية للملفات
- النسبة المئوية لجهد المعاوقة عند التيار المقنن
- نوع التبريد
- الوزن الكلى للمحول
- وزن السائل العازل
- مستوى درجة الحرارة
- ارتفاع درجة الحرارة
- مستويات العزل
- وزن الجزء المنقول

- وزن المحول بدون خزان
- السائل العازل أن لم يكن زيت
- بيانات عن نقط التقسيم
- يعطى جدول يوضح نقط التقسيم – الجهد – التيار – النسبة المئوية للمعاوقة
- رسم توضيحى لنقط التقسيم
- أبعاد المحول (حجمه)
- تيار القصر، والزمن المسموح له بالبقاء دون أضرار بالمحول
- أقصى قيمة مسموح بها لأعلى درجة حرارة متوسطة
- أقصى قيمة مسموح بها لدرجة الحرارة المتوسطة للملف بعد تيار قصر

فيما يلى مثالين للوحة بيان محولى قدرة

مثال١: لوحة بيان محول قدرة ١٠م. ف. أ ٦٦/ ١١ك. ف

Type	: TDLF 12500/ 60 A Cu	النوع
No.	: 710609	رقم المسلسل
Year of manufacture	: 1971	سنة التصنيع
KVA Rating	: 10,000 (6,300)	القدرة المقننة
Vector group	: Yyo	المجموعة الاتجاهية
Insulation Level	: 60/10	مستوى العزل
max. Cooling air temp	: 45°C	أقصى درجة حرارة تبريد

جدول يوضح قيم المعاوقة عند نقط التقسيم ١، ١٠، ١٩

Position	Volts	Volts	Amperes	Amperes	Imedance %
1	76500		76 (48)		9.3 (5.9)
10	66000	10500	87.5 (55)	550 (346)	8.7 (5.5)
19	55440		104 (66)		8.1 (5.2)

Type of cooling	: OB (ON)	نوع التبريد
Stabilizing Winding	: 9510 V 117 (73.6) A	ملف الأتزان

The r.m.s value of the one pole short circuit current between L.V

Phase terminal and L.V neutral terminal is to be limited to 95 KA

Weight total/ transport 32, 6/ 32. 2 t الوزن الكلى

Weight oil/ active part 8,7 / 19.5 t وزن الزيت

H.V connection U V W

جدول يوضح الجهد – نقط التقسيم – أطراف التوصيل

Volts	On Load tap changer Posi.	Connection	
76560	1	X_1 Y_1 Z_1	
75380	2	X_2 Y_2 Z_2	
74200	3	X_3 Y_3 Z_3	
73020	4	X_4 Y_4 Z_4	
71840	5	X_5 Y_5 Z_5	X_0 X_+
70060	6	X_6 Y_6 Z_6	Y_0 Y_+
69480	7	X_7 Y_7 Z_7	Z_0 Z_+
68300	8	X_8 Y_8 Z_8	
67120	9	X_9 Y_9 Z_9	
66000	10	X_K Y_K Z_K	
64820	11	X_1 Y_1 Z_1	
63440	12	X_2 Y_2 Z_2	
62460	13	X_3 Y_3 Z_3	
61280	14	X_4 Y_4 Z_4	X_0 X_-
60000	15	X_5 Y_5 Z_5	Y_0 Y_-
58920	16	X_6 Y_6 Z_6	Z_0 Z_-
57740	17	X_7 Y_7 Z_7	
56560	18	X_8 Y_8 Z_8	
55440	19	X_9 Y_9 Z_9	

ملف الجهد المنخفض: Low Voltage:

Connection u v w 10, 500 v

Tertiary winding 9, 700 v الملف الثالث



Winding temp. rise	: 50^{o} C	أعلى درجة حرارة الملفات
Untank height	: 5.4 m	ارتفاع بدون الخزان
Type oil	: IEC 296	نوع الزيت
Diagram No	: 1677/84. 4. 3940 B	رقم الرسم
Mass total	: 34. 3 t	الوزن الكلى
Mass oil	: 8 t	وزن الزيت
Mass untank	: 19.5 t	الوزن بدون الخزان

Grounging resistor (11 Kv sicde) — بيانات مقاومة نقطة التعادل

Westinghouse — أنتاج

Rated Voltage	Ohm	Amperes
5350 V	12.75	500

الجهد والتيار المقنن

System Voltage	Frequency
10998 V	50 Hz

التردد

Indoor - Outdoor x — نظام التركيب (داخلى – خارجى)

5.0 ZWHS- 83337- 1 Time = 30 Sec — الزمن

ملحـــق ٢

دليل الحماية للخلايا واللوحات "IP"

Index Of Protection IP For Panels And Boards

كل معدة كهربائية (محولات، محركات، مولدات، قواطع....) تحتوى على جسم معدنى أو خزان أو كابينة، نجد أن لوحة البيان (nameplate) الخاصة بها تحتوى على نوع حماية جسم المعدة من حيث

- الحماية ضد الاجسام الصلبة
- الحماية ضد السوائل
- الحماية الميكانيكية

طبقا للمواصفات القياسية العالمية: DIN 40050 NFC 20 010, IEC 529 فانه يرمز لهذا النوع من الحماية بالرمزين IP ثم تكتب أرقام بجوار هذين الرمزين كالآتى: { الرقم الثالث – الرقم الثانى– الرقم الأول IP}

بالنظر فى الجدول رقم (١) نجد أنه مقسم الى ثلاثة أجزاء رأسية: الجزء الأول، الخاص بالحماية ضد الأجسام الصلبة، يتبعة الرقم الاول، أى أنه بمعرفة الرقم الاول يمكن تحديد نوع الحماية. وبالمثل الجزء الثانى بالجدول خاص بالحماية ضد السوائل، والجزء الثالث خاص بالحماية الميكانيكية. لتوضيح هذا نأخذ هذا المثال:

معنى هذا IP 437

الرقم الأول ٤ يعنى حماية ضد الأجسام الصلبة ذات سمك أكبر من ١ مم

الرقم الثانى ٣ يعنى حماية ضد مياه الأمطار المتساقطة عند ٦٠°م

الرقم الثالث ٧ يعنى تحمل طاقة تصادم تساوى ٦ جول

(أى تساوى ٠,٦١ كجم متر، خارج قسمة ٦ على ٩,٨١)

جدول (١)

الرقم الأول الحماية ضد الأجسام الصلبة		الرقم الثاني الحماية ضد السوائل			الرقم الثالث الحماية الميكانيكية	
IP	الاختبار	IP	الاختبار	E.E.C. Symbol	IP	الاختبار
0	بدون حماية	0	بدون حماية		0	بدون حماية
1	حماية ضد الأجسام الصلبة ذات سمك أكبر من ٥٠ مم (ضغط باليد)	1	حماية ضد تساقط نقط المياه رأسيا (تكثيف)	💧	1	طاقة التصادم = ٠٫٢٢٥ جول = ٠٫٠٢٣ كجم متر
2	حماية ضد الأجسام الصلبة ذات سمك أكبر من ١٢ مم (بالاصبع)	2	حماية ضد تساقط نقط المياه رأسيا عند درجة حرارة ١٥°م		3	طاقة التصادم = ٠٫٥ جول = ٠٫٠٥١ كجم متر

3	حماية ضد الاجسام الصلبة ذات سمك أكبر من ٢,٥ مم (أدوات - كابلات)	3	حماية ضد مياه الامطار الرأسية عند ٦٠°		5	طاقة التصادم = ٢ جول
		4	حماية ضد دفع المياه في أي اتجاه			
4	حماية ضد الاجسام الصلبة ذات سمك أكبر من ١مم (أدوات دقيقة - أسلاك صغيرة)	5	حماية ضد المياه المتدفقة بتركيز في أي اتجاه		7	طاقة التصادم = ٦ جول
		6	حماية ضد المياه المتدفقة بشدة مثل البحر الهائج			
5	حماية ضد الاتربة (لا تتأثر بالترسيب)	7	الحماية ضد الانغماس		9	طاقة التصادم = ٢٠ جول
6	حماية كاملة ضد الأتربة	8	الحماية ضد الانغماس لمدة طويلة تحت ضغط	..m		
		W	حماية ضد الظروف الجوية الصعبة			

ملحـــق ٣

تحميل المحولات

أقصى تحميل يومى للحفاظ على سلامة المحولات

Daily Peak Load of Nameplate Rating to Give Nomal Life Expectancy

يمكن تشغيل المحولات عند درجات حرارة أعلى من ٩٥°م، لفترات قصيرة محددة، بدون أن تسبب مخاطر تذكر على المحول. كذلك يمكن تشغيلها لفترات أطول عند درجات حرارة أقل من ٩٥° م.

عادة تتكون دورة التحميل اليومى (Daily Load) من أحمال متغيرة خلال اليوم، ويمكن أن نقسم الدورة الى مراحل بحيث يكون الحمل ثابتا تقريبا فى كل مرحلة، كما يمكن حساب الحمل المكافىء لدورة التحميل اليومى من العلاقة.

$$\text{الحمل المكافئ} = \text{Equivalent load} = \sqrt{\frac{L_1^2 t_1 + L_2^2 t_2 + ... + L_n^2 t_n}{t_1 + t_2 \; .... \; + t_n}}$$

حيث

$L_1, L_2 - L_n$ أحمال المراحل المختلفة

$t_1, t_2 - t_n$ فترة كل مرحلة

جدول (١) يوضح أقصى تحميل يومى للمحولات بدلالة درجة الحرارة المحيطة

مثال

أحسب قدرة محول يراد تشغيله بدورة تحميل يومى كالآتى:

٥٠٪ من الحمل مستمر

٧٠٪ من الحمل لمدة ساعتين (بقيمة ١٠٠٠٠ ك. ف. أ)

درجة الحرارة المحيطة ٣٠°م

الحل:

من جدول أقصى تحميل يومى لمدة ساعتين (من قيمة القدرة المقننة) = ١,٣٢

وعلى ذلك فان قدرة المحول المقترح استخدامه لهذه الدورة = $\frac{١٠٠٠٠}{١,٣٢}$ = ٧٥٠٠ ك. ف. أ

الحمل المكافىء الثابت قبل الوصول الى أقصى حمل ٥٠٪ = ٥٠٠٠ ك. ف. أ هذه القيمة $\frac{٥٠٠٠}{٧٥٠٠}$ = ٦٦,٦٪ من قدرة المحول.

وعلى ذلك اختيار محول قدرة ٧٥٠٠ ك. ف. أ يناسب دورة الحمل المذكورة.

يجب عند تحميل المحولات عند درجات حرارة أكبر من ٥٠°م الا تتعدى حدود التحميل فترة زمنية معينة، محددة بالمواصفات القياسية العالمية، حتى لا يتأثر المحول ويقل عمره الافتراض، ويجب عمل توازن لدورة الحمل اليومى، بحيث يتم تحميل المحول بحمل صغير لفترات أخرى، ثم تحميله لفترة زمنية صغيرة بالحمل الزائد. ويتم الكشف على جميع أجزاء المحول، بعد تشغيله بزيادة حمل (مثل : نهاية الكابلات- نقط التقسيم، أن أمكن، عوازل الاختراق...)

جدول (٢) يحتوى على قدرة التحميل الزائد (كنسبة من القدرة المقننة للمحولات المغمورة فى الزيت، طبقا للمواصفات القياسية الالمانية (DIN). يجب ألا تتعدى متوسط درجة حرارة الملفات ١٠٥°م، اذا كان متوسط درجة حرارة وسط التبريد خلال الدورة ٢٥°م. واذا كانت المحولات مجهزة بمراوح تبريد ولكن المراوح معزولة فيجب أن يكون التحميل ٦٠٪ من القدرة المقننة للمحول.

جدول (٣) يوضح فترات زيادة الحمل للمحولات الجافة ذات مادة عزل من الدرجة (A) بفرض أن الملفات الابتدائية مبردة بالهواء المحيط مباشرة. للمحولات الجافة ذات مادة عزل من الدرجة B والدرجةE يستخدم جدول (٢) مع مراعاة أن تقل نسبة التحميل بنسبة ٨٥٪، ٩٠٪ على التوالى.

اذا كانت درجة حرارة الهواء مختلفة عن القيم القياسية المستخدمة للمحولات فيتم الرجوع الى جدول (٤) للمحولات المغمورة فى الزيت - تبريد هواء.

جدول (١)

Daily Peak Load in p.u of nameplate Rating to give normal Life expectancy

أقصى حمل يومى، كنسبة من الحمل المقنن المذكور بلوحة بيان المحول، للحفاظ على عمر المحول

زمن أقصى حمل ساعات	تبريد ذاتى هواء وزيت أو تبريد مياه																	
	الحمل المكافئ المستمر كنسبة مئوية من قدرة المحول (ك.ف .أ) Preceding peak load																	
	٥٠٪						٧٠٪						٩٠٪					
	درجة الحرارة المحيطة °م						درجة الحرارة المحيطة °م						درجة الحرارة المحيطة °م					
	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠
٠,٥	٢	٢	٢	١,٨٩	١,٧	١,٥٢	٢	٢	١,٩٥	١,٧٨	١,٦	١,٤١	٢	١,٩٩	١,٨٢	١,٦٤	١,٤٦	١,٢٤
١	٢	١,٨٨	١,٧٣	١,٥٨	١,٤١	١,٢٣	١,٩٥	١,٨	١,٦٥	١,٤٩	١,٣٢	١,١٤	١,٨٦	١,٧	١,٥٥	١,٣٩	١,٢	٠,٩٩
٢	١,٧٦	١,٦٤	١,٥١	١,٣٧	١,٢٢	١,٠٦	١,٧٢	١,٥٩	١,٤٦	١,٣٢	١,١٦	٠,٩٩	١,٦٦	١,٥٣	١,٣٩	١,٢٤	١,٠٨	٠,٩
٤	١,٥٤	١,٤٣	١,٣٣	١,١٩	١,٠٦	٠,٩٢	١,٥٢	١,٤١	١,٢٩	١,١٧	١,٠٤	٠,٨٩	١,٥	١,٣٩	١,٢٦	١,١٣	١	٠,٨٤
٨	١,٤١	١,٣	١,١٩	١,٠٨	٠,٦٩	٠,٨٤	١,٤	١,٣	١,١٩	١,٠٧	٠,٩٥	٠,٨٣	١,٣٩	١,٢٩	١,١٨	١,٠٦	٠,٩٤	٠,٨٢
٢٤	١,٣٣	١,٢٢	١,١١	١,٠	٠,٨٩	٠,٧٨	١,٣٣	١,٢٢	١,١١	١,٠	٠,٨٩	٠,٧٨	١,٣٣	١,٢٢	١,١١	١	٠,٨٩	٠,٧٨

فى حالة التبريد بالماء تطرح ٥°م من خانة الدرجات المحيطة. يجب أن تكون أقل درجة حرارة للمياه أعلى من الصفر.

جدول (٢)
فترة زيادة الحمل للمحولات المغمورة فى الزيت

نسبة التحميل السابقة ٪ من قيمة قدرة المحول	درجة حرارة الزيت ° م عند بداية زيادة الحمل تبعاً لحالة التبريد		مدة التحميل الزائد باعتبار الحمل الزائد نسبة من المقنن				
	تبريد هواء طبيعى أو مراوح	تبريد مياه- تبريد زيت وهواء مدفوع	١٠٪ ساعة	٢٠٪ ساعة	٣٠٪ دقيقة	٤٠٪ دقيقة	٥٠٪ دقيقة
٥٠	٥٥	٤٩	٣	١,٥	٦٠	٣٠	١٥
٧٥	٦٨	٦٠	٢	١	٣٠	١٥	٨
٩٠	٧٨	٦٨	١	٠,٥	١٥	٨	٤

جدول (٣)
فترة زيادة الحمل للمحولات الجافة ذات عزل درجة A

نسبة التحميل السابقة ٪ من قيمة قدرة المحول	فترة زيادة الحمل للمحولات كنسبة من المقدرة المقننة				
	١٠٪ دقيقة	٢٠٪ دقيقة	٣٠٪ دقيقة	٤٠٪ دقيقة	٥٠٪ دقيقة
٥٠	٦٠	٣٠	٢٠	١٥	١٢
٧٥	٥٥	٢٣	١٥	١١	٩
٩٠	٤٥	١٦	١٠	٧	٥

جدول (٤)
الحمل المستمر المسموح للمحولات الزيتية (تبريد هواء) عند درجة حرارة تختلف عن القيم القياسية

	اختلاف درجة حرارة الهواء عند القيمة القياسية	-٢٠°م	-١٠°م	صفر	+١٠°م	+٢٠°م
القدرة المستخدمة٪ من قيمة القدزة القدرة المقننة	تبريد هواء عادى	١٢١	١١١	١٠٠	٩١	٨١
	تبريد هواء بالمراوح	١١٥	١٠٩	١٠٠	٩٢	٨٣
	استخدام مضخات هواء	١١٥	١٠٧	١٠٠	٩٢	٨٤

ملحـــق ٤

أماكن تركيب المحولات

يختلف تصميم المحولات التى تركب داخل المبنى (Indoor) عن المحولات التى تركب خارجه (Outdoor)، حيث توضع شروط معينة للحجرة التى سيتم تركيب المحول بها، كبعد المحول عن الحوائط، وأماكن التهوية المختلفة، بينما تكون المحولات المركبة خارج المبانى محاطة بمساحات فراغ للتهوية. وفى حالة تركيب عدد من المحولات متجاورة، فانه يلزم وضع ألواح عازلة، ضد الحريق، بينهم أو بناء حائط خرسانى.

شكل (١) يوضح محول مركب داخل المبنى، يجب أن تكون الحجرة واسعة بالكفاية، لكى تسمح بمحاور حرة حول المحول، وتشترط المواصفات القياسية الأبعاد الآتية كأقل مسافة مسموحة بالمتر بين المحول والحائط.

٠,٥ متر إذا كان المحول بجوار حائط واحد

٠,٧٥ متر اذا كان المحول بجوار حائطين (فى ركن)

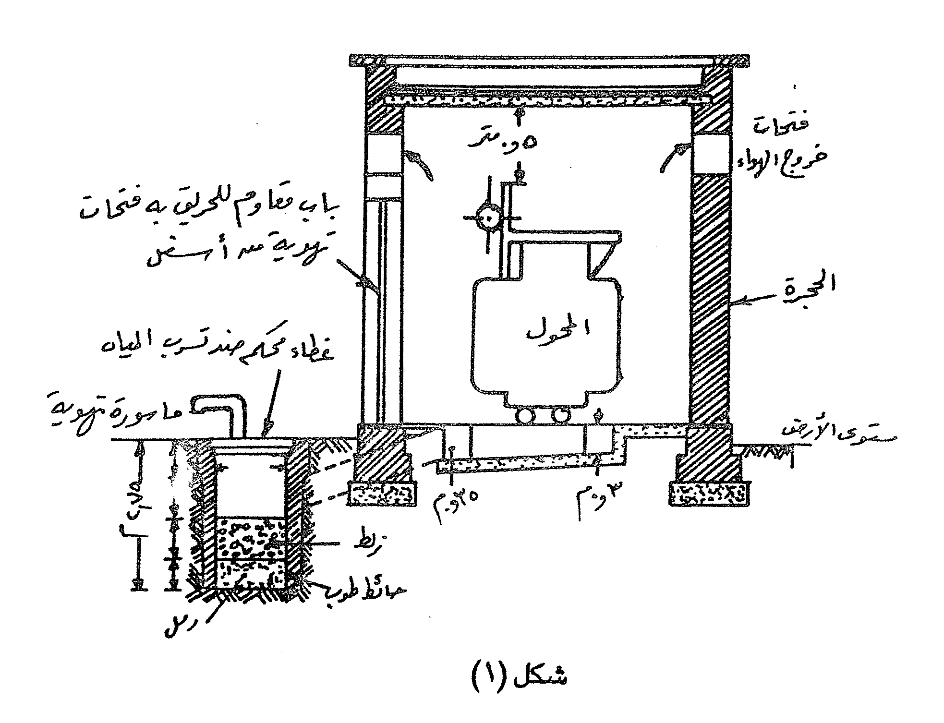
١ متر اذا كان المحول محاطاً بثلاثة حوائط

١,٢٥ اذا كان المحول محاطاً بأربعة حوائط (مثل حالة الحجرات المغلقة)

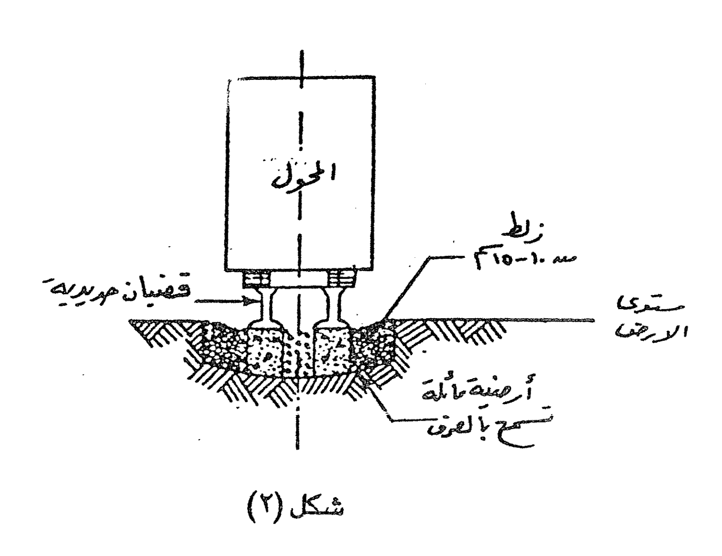
تجهز الحجرة بفتحات تهوية لدخول الهواء، التى تكون قريبة بقدر الامكان من أرضية الحجرة، بينما تكون بفتحات خروج الهواء قريبة بقدر الامكان من سقف الحجرة تختلف قدرة الحرارة المفقودة، أو المتبددة بالمحول على حسب قيمة القدرة المقننة للمحول كالآتى:

القدرة المقننة للمحول	قدرة الحرارة المفقودة عند الحمل الكامل
ك. ف. أ	ك.و
١٦	٠,٧٥
٢٥	١
٦٣	٢
١٠٠	٣
١٦٠	٤
٢٠٠-١٠٠	٢+ ١,٥ لكل ١٠٠ ك. ف. أ

يجب تجهيز حجرات المحولات بمساحة تهوية، لا تقل عن ٢ متر مربع لهواء الخروج، وواحد متر مربع لهواء الدخول، لكل ١٠٠٠ ك. ف. أ من القدرة المقننة للمحول، كما يوصى بمضاعفة هذه المساحات للمحولات ذات الأحمال المرتفعة. فى حالة عدم


فتحات
خروج الهواء
٥ و. متر
باب مقاوم للحريق به فتحات
تهوية من أسفل
الحجرة
المحول
غطاء محكم ضد تسرب المياه
ماسورة تهوية
مستوى الأرض
٣٥ و. م
٣ و. م
زلط
حائط طوب
رمل

شكل (١)


المحول
زلط
من ١٠-١٥ سم
قضبان حديدية
مستوى
الارض
أرضية مائلة
تسمح بالصرف

شكل (٢)

References

1- ASEA Information KT o92 - 101 E

Application guide relating to instrument transformer

2- SIEMENS

High Voltage Instrument Transformers

Printed In Germany Ps 6713

3- J & P Transformer Book

AC Franklin DP Franklin

4- Applied Protective Relaying

Westinghouse Electric Corporation

Relay Instrument Division

Newark., N.J. 07101

5- Transformers Principles And Applications

Second Edition

Kenneth L. Gobert

Kenneth R. Edwards

American Technical Publisers, Inc.

6- Large Power Transformers Shell Form, Form -

Fit Construction Jeumont - Schneider

7- Siemens Short Circuit Current In Three Phase System

8- Transmission and Distribution

Reference Book W

للمؤلفة :

1 - المكثفات و تحسين معامل القدرة .
2 - المحولات الكهربانية - الجزء الأول .
3 - المحولات الكهربائية - الجزء الثانى .
4 - الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الأول .
5 - التوافقيات فى الشبكات الكهربائية .
6 - جودة التغذية الكهربائية .
7 - الإضاءة و توفير الطاقة .
8 - الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الثانى .
9 - إدارة طلب الطاقة و فرص ترشيد استخدام الطاقة فى المنشآت الصناعية والتجارية - الجزء الأول .
10 - البيئة - الطاقة و غازات الإحتباس الحرارى .
11 - إدارة طلب الطاقة - الجزء الثانى .
12 - اضطرابات جودة التغذية الكهربائية .
13 - ارشادات لوسائل التوعية لترشيد استخدام الطاقة .
14 - 75 فرصة لترشيد استخدام الطاقة .
15 - الفقد فى الطاقة الكهربائية .
16 - مؤشرات إعتمادية الأنظمة الكهربائية .

رقم الايداع
٩٢/٤٢٥٥
الرقم الدولى
I. S. B. q 977/ 5322/ 00/ 6

دار الجامعيين للطباعة و التجليد
ت: ٠٣/٤٨٦٢٠٠٤